



## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN  
SECADERO DE JAMONES

Alumno: Víctor Sancho Rodrigo

Tutor: Miguel Ángel Pascual Buisan

Pamplona, Junio 2013





# Índice general

<b>1. Memoria</b>	<b>1</b>
1.1. Autor . . . . .	3
1.2. Objeto . . . . .	4
1.3. Introducción . . . . .	6
1.3.1. La industria del jamón curado . . . . .	6
1.3.1.1. Proceso de fabricación del jamón curado . . . . .	7
1.3.2. Dimensiones de los secaderos . . . . .	11
1.3.3. Condiciones de proyecto . . . . .	15
1.3.3.1. Condiciones exteriores de proyecto . . . . .	15
1.3.3.2. Condiciones interiores de proyecto . . . . .	15
1.4. Sistema de compresión simple . . . . .	16
1.4.1. Ciclo real del sistema de compresión simple . . . . .	18
1.5. Estimación de las necesidades frigoríficas . . . . .	21
1.5.1. Cálculo de la carga térmica de refrigeración . . . . .	21
1.5.1.1. Transferencia de calor de los productos . . . . .	21
1.5.1.2. Transferencia de calor a través de los cerramientos interiores y exteriores . . . . .	23
1.5.1.3. Transferencia de calor a través de techo y suelo . . . . .	26
1.5.1.4. Calor generado por las personas . . . . .	28
1.5.1.5. Calor generado por el alumbrado . . . . .	29
1.5.1.6. Transferencia de calor debido a las renovaciones de aire . . . . .	29
1.5.1.7. Calor generado por ventiladores, motores y bombas . . . . .	30
1.5.2. Balance energético . . . . .	31
1.6. Fluidos frigorígenos . . . . .	32
1.6.1. Denominación de los fluidos frigorígenos . . . . .	33
1.6.2. Clasificación según el grado de seguridad . . . . .	34
1.6.3. Impacto de los refrigerantes sobre el medio ambiente . . . . .	35
1.6.4. Elección del fluido frigorígeno . . . . .	36
1.7. Componentes de una instalación frigorífica de compresión de vapor . . . . .	37
1.7.1. Evaporador . . . . .	37
1.7.1.1. Desescarche . . . . .	41

1.7.2.	Compresor . . . . .	43
1.7.3.	Condensador . . . . .	45
1.7.4.	Válvula de expansión . . . . .	49
1.7.5.	Ventiladores . . . . .	51
1.7.6.	Elementos accesorios . . . . .	52
1.7.6.1.	Tuberías de refrigerante . . . . .	53
1.7.6.2.	Recipiente de líquido . . . . .	54
1.7.6.3.	Filtro deshidratador . . . . .	55
1.7.6.4.	Visor de líquido . . . . .	56
1.7.6.5.	Latiguillo antivibraciones . . . . .	57
1.7.6.6.	Válvulas de cierre . . . . .	58
1.7.6.7.	Válvulas de retención o antirretorno . . . . .	58
1.7.6.8.	Válvulas de solenoide . . . . .	59
1.7.6.9.	Válvula de seguridad . . . . .	60
1.7.6.10.	Termostato . . . . .	61
1.7.6.11.	Presostatos . . . . .	61
1.7.7.	Configuración final de la instalación . . . . .	63
1.8.	Funcionamiento de la instalación . . . . .	64
1.8.1.	Ciclos de la instalación . . . . .	64
1.8.2.	Sistema acumulador de hielo estático . . . . .	69
<b>2.</b>	<b>Cálculos</b>	<b>1</b>
2.1.	Cálculo de la carga térmica de refrigeración . . . . .	2
2.1.1.	Transferencia de calor de los productos . . . . .	2
2.1.2.	Transferencia de calor a través de los cerramientos interiores y exteriores . . . . .	3
2.1.3.	Transferencia de calor a través del suelo . . . . .	5
2.1.4.	Transferencia de calor a través del techo . . . . .	5
2.1.5.	Calor generado por las personas . . . . .	6
2.1.6.	Calor generado por el alumbrado . . . . .	6
2.1.7.	Transferencia de calor debido a las renovaciones de aire . . . . .	7
2.1.8.	Balance energético . . . . .	8
2.2.	Selección del compresor . . . . .	10
2.3.	Selección del condensador exterior . . . . .	16
2.4.	Diseño del evaporador y condensador interior . . . . .	20
2.4.1.	Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor del eva- porador . . . . .	20
2.4.2.	Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor del con- densador interior . . . . .	22
2.4.3.	Dimensionado del evaporador y condensador interior . . . . .	25
2.5.	Pérdidas de carga . . . . .	29

2.6. Sistema acumulador de hielo estático . . . . .	30
<b>3. Planos</b>	<b>1</b>
3.1. Planta 1 . . . . .	2
3.2. Planta 2 . . . . .	3
3.3. Planta 3 . . . . .	4
3.4. Planta 1: Áreas y Flujo del producto . . . . .	5
3.5. Esquema frigorífico: Postsalado . . . . .	6
3.6. Esquema frigorífico: Postsalado-Secado . . . . .	7
3.7. Esquema frigorífico: Secado . . . . .	8
3.8. Esquema frigorífico: Bodega . . . . .	9
<b>4. Pliego de condiciones</b>	<b>1</b>
4.1. Condiciones generales . . . . .	3
4.2. Condiciones de índole facultativo . . . . .	4
4.3. Condiciones de índole económica . . . . .	7
4.4. Condiciones de índole legal . . . . .	9
4.5. Observaciones . . . . .	12
4.6. Condiciones técnicas . . . . .	13
4.6.1. Sala de máquinas . . . . .	13
4.6.2. Instalación eléctrica . . . . .	15
4.6.3. Conductos de aire y accesorios . . . . .	15
4.6.4. Aislamiento térmico de los componentes del circuito frigorífico	16
4.7. Condiciones de recepción de productos . . . . .	19
4.7.1. Control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas	19
4.7.2. Productos afectados por la Directiva de Productos de la Cons- trucción . . . . .	20
4.7.3. Productos no afectados por la Directiva de Productos de la Construcción . . . . .	21
4.8. Marcado y documentación . . . . .	23
4.8.1. Documentación . . . . .	24
4.9. Prescripciones generales de las instalaciones . . . . .	28
4.10. Ensayos, pruebas y revisiones previos a la puesta en servicio . . . . .	34
4.11. Mantenimiento e inspección de las instalaciones frigoríficas . . . . .	38
4.11.1. Mantenimiento . . . . .	38
4.12. Medidas de prevención y de protección personal . . . . .	43
4.13. Refrigerantes. Manipulación y fugas. . . . .	46
4.13.1. Manipulación y gestión de refrigerantes . . . . .	46
4.13.2. Reducción de fugas en las instalaciones frigoríficas . . . . .	50
4.14. Instalación de protección contra incendios . . . . .	56
4.15. Relación de normas de referencia . . . . .	59

<b>5. Presupuesto</b>	<b>1</b>
5.1. Instalación frigorífica: Postsalado . . . . .	3
5.2. Instalación frigorífica: Postsalado-Secado . . . . .	4
5.3. Instalación frigorífica: Secado . . . . .	5
5.4. Instalación frigorífica: Bodega . . . . .	6
5.5. Instalación eléctrica . . . . .	7
5.6. Control automático . . . . .	7
5.7. Mano de obra . . . . .	8
5.8. Presupuesto total . . . . .	9



## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN  
SECADERO DE JAMONES

Documento 1:

**MEMORIA**

Alumno: Víctor Sancho Rodrigo

Tutor: Miguel Ángel Pascual Buisan

Pamplona, Junio 2013



# Documento 1

## Memoria

### Índice

<b>1.1. Autor . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Objeto . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>1.3. Introducción . . . . .</b>	<b>6</b>
1.3.1. La industria del jamón curado . . . . .	6
1.3.1.1. Proceso de fabricación del jamón curado . . . . .	7
1.3.2. Dimensiones de los secaderos . . . . .	11
1.3.3. Condiciones de proyecto . . . . .	15
1.3.3.1. Condiciones exteriores de proyecto . . . . .	15
1.3.3.2. Condiciones interiores de proyecto . . . . .	15
<b>1.4. Sistema de compresión simple . . . . .</b>	<b>16</b>
1.4.1. Ciclo real del sistema de compresión simple . . . . .	18
<b>1.5. Estimación de las necesidades frigoríficas . . . . .</b>	<b>21</b>
1.5.1. Cálculo de la carga térmica de refrigeración . . . . .	21
1.5.1.1. Transferencia de calor de los productos . . . . .	21
1.5.1.2. Transferencia de calor a través de los cerramien- tos interiores y exteriores . . . . .	23
1.5.1.3. Transferencia de calor a través de techo y suelo .	26
1.5.1.4. Calor generado por las personas . . . . .	28
1.5.1.5. Calor generado por el alumbrado . . . . .	29
1.5.1.6. Transferencia de calor debido a las renovaciones de aire . . . . .	29
1.5.1.7. Calor generado por ventiladores, motores y bombas	30
1.5.2. Balance energético . . . . .	31
<b>1.6. Fluidos frigorígenos . . . . .</b>	<b>32</b>
1.6.1. Denominación de los fluidos frigorígenos . . . . .	33
1.6.2. Clasificación según el grado de seguridad . . . . .	34
1.6.3. Impacto de los refrigerantes sobre el medio ambiente . . .	35

1.6.4. Elección del fluido frigorígeno . . . . .	36
<b>1.7. Componentes de una instalación frigorífica de compresión de vapor . . . . .</b>	<b>37</b>
1.7.1. Evaporador . . . . .	37
1.7.1.1. Desescarche . . . . .	41
1.7.2. Compresor . . . . .	43
1.7.3. Condensador . . . . .	45
1.7.4. Válvula de expansión . . . . .	49
1.7.5. Ventiladores . . . . .	51
1.7.6. Elementos accesorios . . . . .	52
1.7.6.1. Tuberías de refrigerante . . . . .	53
1.7.6.2. Recipiente de líquido . . . . .	54
1.7.6.3. Filtro deshidratador . . . . .	55
1.7.6.4. Visor de líquido . . . . .	56
1.7.6.5. Latiguillo antivibraciones . . . . .	57
1.7.6.6. Válvulas de cierre . . . . .	58
1.7.6.7. Válvulas de retención o antirretorno . . . . .	58
1.7.6.8. Válvulas de solenoide . . . . .	59
1.7.6.9. Válvula de seguridad . . . . .	60
1.7.6.10. Termostato . . . . .	61
1.7.6.11. Presostatos . . . . .	61
1.7.7. Configuración final de la instalación . . . . .	63
<b>1.8. Funcionamiento de la instalación . . . . .</b>	<b>64</b>
1.8.1. Ciclos de la instalación . . . . .	64
1.8.2. Sistema acumulador de hielo estático . . . . .	69



## 1.1. Autor

El presente proyecto *Tratamiento higrotérmico del aire en un secadero de jamones* se realiza como Proyecto fin de carrera por el alumno de Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Mecánica, Víctor Sancho Rodrigo.

## 1.2. Objeto

El presente proyecto tiene por objeto el diseño, ejecución y puesta en marcha de la instalación frigorífica de un secadero de jamones. La producción del jamón curado ha sufrido en las últimas décadas un proceso de industrialización aunque se sigue basando en los procesos de elaboración tradicionales. Las variaciones introducidas en el proceso de elaboración se relacionan principalmente con la mecanización de los procesos y la utilización de secaderos artificiales donde el control de la temperatura y humedad relativa permite conseguir una producción a lo largo de todo el año y no depender de la climatología.

Las principales etapas del proceso de curación del jamón curado son: salazón, postsalado, secado y bodega. Dependiendo del proceso seguido en la curación del jamón entre las fases de postsalado y secado en ocasiones se introduce una fase intermedia denominada postsalado-secado. En el presente proyecto se va a analizar y diseñar la instalación frigorífica de las siguientes etapas: postsalado, postsalado-secado, secado y bodega.

Las dimensiones de cada secadero son de acuerdo al tiempo de permanencia de cada partida de jamones en los mismos. Cada partida de jamones consta de 1500 piezas, que se reciben semanalmente. El proceso de curación descrito en este proyecto corresponde al del jamón serrano de larga curación.

El sistema de producción de frío empleado en la instalación frigorífica de los secaderos de jamones es el sistema de compresión simple de vapor. En este sistema los elementos principales de la instalación son: evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión.

Como en el proceso de curación del jamón serrano hay que controlar tanto la temperatura y humedad relativa las instalaciones disponen de dos condensadores: un condensador exterior y otro condensador interior.

Para dimensionar la instalación frigorífica de cada secadero es necesario realizar previamente el cálculo de las necesidades frigoríficas. Este cálculo está descrito en el capítulo 1.5. Los secaderos de jamones se dimensionan para que funcionen un número determinado de horas ya que si funcionaran las veinticuatro horas del día se produciría un acortamiento de los jamones, lo cual impediría que la humedad interior saliese ya que los poros se cerrarían. El proceso de curación del jamón es un proceso en el que mantener las consignas de cada secadero es muy importante para que no se desarrollen microorganismos patógenos.

La evolución de los fluidos frigorígenos empleados en las instalaciones a lo largo de la historia se debe sobre todo a aspectos medioambientales y de seguridad. Los fluidos frigorígenos se clasifican según su grado de inflamabilidad y toxicidad y a su vez según su impacto en el medio ambiente. La elección del fluido frigorígeno depende en gran medida de la aplicación donde vaya a ser utilizado. Para los secaderos de jamón el refrigerante seleccionado es el R-404A ya que es el que se emplea para medias potencias y pertenece al grupo de refrigerantes no tóxicos y no inflamables.

Una vez calculadas las necesidades frigoríficas de cada secadero se procede al dimensionamiento de cada uno de los elementos de la instalación frigorífica. Aunque los elementos principales ya se han mencionado anteriormente, son necesarios una serie de elementos accesorios para el funcionamiento de la instalación. En este proyecto se describen tanto los elementos principales como los accesorios. A su vez se

realiza una pequeña descripción de los mismos y se explica el método de selección de los mismos para cada instalación.

En el capítulo 1.8 se describe el funcionamiento global de la instalación frigorífica diseñada para cada secadero. A su vez se plantea una alternativa al sistema convencional de compresión simple de vapor. Este sistema es el sistema de acumulación estática de hielo. En ambos sistemas se mantienen los mismos elementos del sistema de compresión simple de vapor. La diferencia entre ambos sistemas se encuentra en el evaporador. En el evaporador del sistema convencional el fluido secundario es el aire del secadero a refrigerar; mientras que en el evaporador del sistema de acumulación de hielo estático el fluido secundario es agua con glicol. Este agua con glicol pasa después a un depósito donde se encuentran los elementos acumuladores de hielo, Ice ball. Estos elementos almacenan la energía frigorífica para emplearla cuando sea necesaria. En este sistema la potencia frigorífica de diseño del sistema de compresión simple de vapor se puede reducir significativamente y a su vez se puede distribuir el consumo de energía eléctrica a lo largo del día, evitando las horas punta. El objeto de esta sección es analizar la viabilidad económica de la instalación del sistema de acumulación de hielo estático. Para ello se realiza el estudio del consumo mensual de los elementos que difieren de un sistema al otro para poder obtener después la diferencia del consumo eléctrico entre un sistema y otro. De acuerdo a los secaderos diseñados en el presente proyecto se consigue un ahorro de  $\cong 5100\text{€}/\text{año}$  con la instalación del sistema de acumulación de hielo estático.

## 1.3. Introducción

Refrigeración se define coloquialmente como cualquier proceso de eliminación de calor. Una definición más científica es: rama de la ciencia que estudia los procesos de regulación de la temperatura de un espacio por debajo de la temperatura ambiente. El desarrollo de la tecnología frigorífica se inició en 1748 y ha llegado a convertirse en uno de los factores esenciales en la vida cotidiana y la economía actual.

La mayor parte de las plantas destinadas a la refrigeración industrial, independientemente del tamaño, utilizan el sistema de compresión de vapor para la producción de frío. En este capítulo se va a explicar como es el proceso de curación del jamón curado así como el dimensionamiento de los secaderos.

### 1.3.1. La industria del jamón curado

El jamón curado se trata de un derivado cárnico que se obtiene de las extremidades posteriores procedentes de los cerdos adultos tras un proceso de salazón y curado.

La producción de jamón curado es conocida desde hace unos 500-1000 años en China. En esta época el proceso de elaboración era mantenido en gran secreto. De igual forma en pinturas rupestres pertenecientes a épocas prehistóricas aparece ganado porcino, lo cuál indica que debía existir una tradición de salar y curar carne.

Dependiendo del proceso de curación seguido se pueden obtener diferentes tipos de jamón curado. En la Unión Europea existen cuatro variedades acogidas a sellos de calidad diferenciados. Esta variedades son:

- En España: el jamón serrano, el jamón ibérico y la paleta ibérica.
- En Francia: el jamón de Bayona.
- En Italia: el jamón de Parma.

En este proyecto se va a analizar el proceso de curación del jamón serrano. El término serrano se trata de un sello que hace referencia al jamón producido de acuerdo a la directiva europea y nacional de Especialidad Tradicional Garantizada (ETG). Este término sólo puede aplicarse cuando el proceso de curación cumple con los requisitos mínimos que dicha directiva establece.

A continuación se enumeran los requisitos mínimos contemplados por el reglamento correspondiente para que el jamón curado pueda ser acogido a la figura de Especialidad Tradicional Garantizada.[15]

- Los jamones en sangre han de tener un peso mínimo de 9,5kg para aquellos que se presenten con pata y de 9,2kg para los que se presenten sin pata.
- El espesor de grasa mínimo será de 0,8cm, de manera que cuando al jamón se le practique el corte en V quede totalmente recubierto de grasa.
- La temperatura de recepción y de salazón en el interior de las piezas no debe ser superior a los 3°C.
- El tiempo de curación mínimo será de 210 días, a partir del inicio de la salazón.

- La merma mínima será de 33 % con respecto al peso del jamón en sangre.
- El índice de secado máximo se establece en un 57 % y el gradiente máximo de humedad entre la parte exterior y la central será del 12 %.
- La salinidad no puede superar el 15 %, analizada sobre la pieza seca y desengrasada.

### 1.3.1.1. Proceso de fabricación del jamón curado

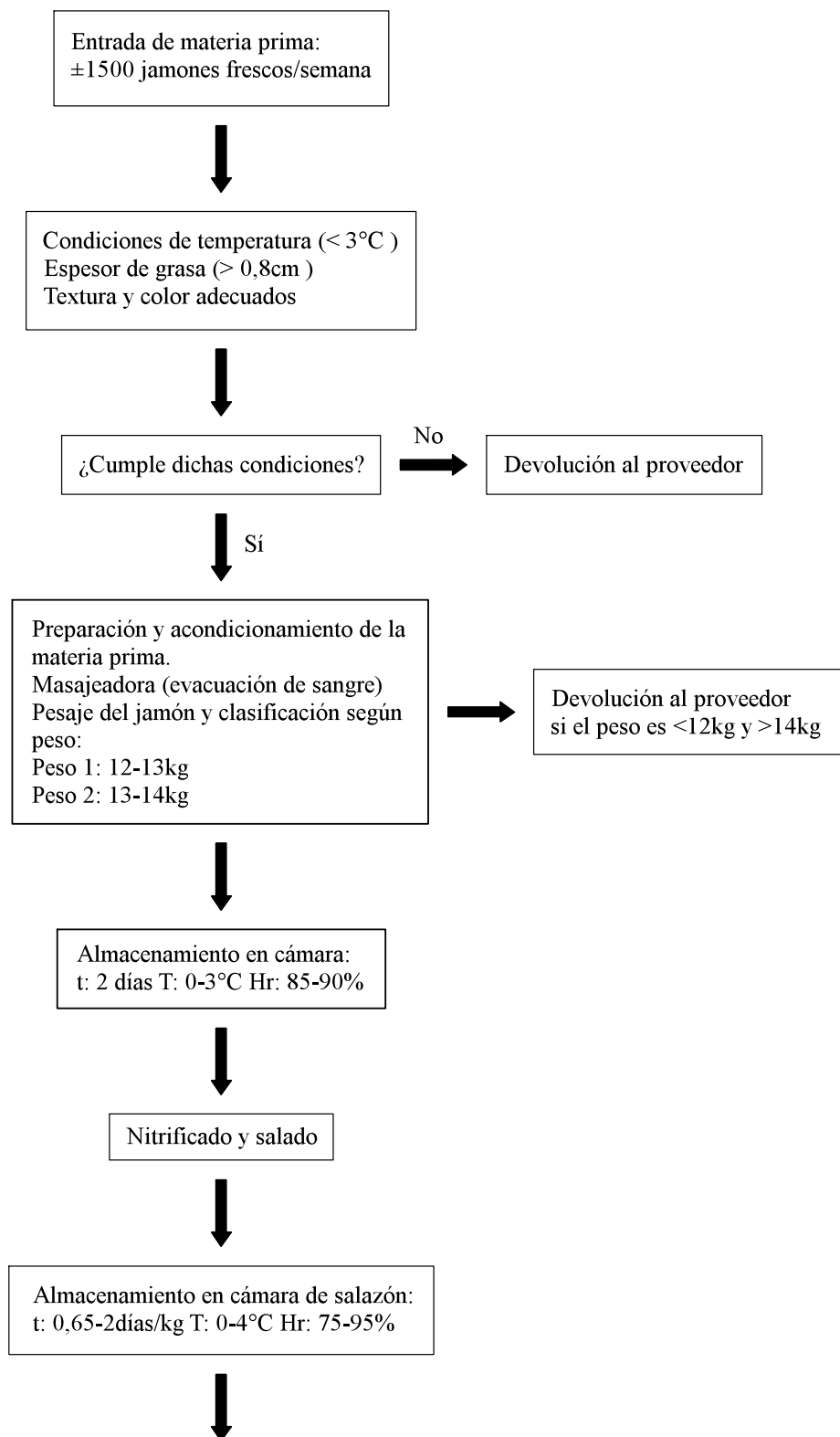
El proceso de producción del jamón curado ha pasado a ser mayoritariamente industrial en las últimas décadas. Los cambios introducidos en el proceso están relacionados con la mecanización de las etapas así como el uso de secaderos donde el control de la temperatura y humedad permiten conseguir la independencia del proceso respecto a la climatología.

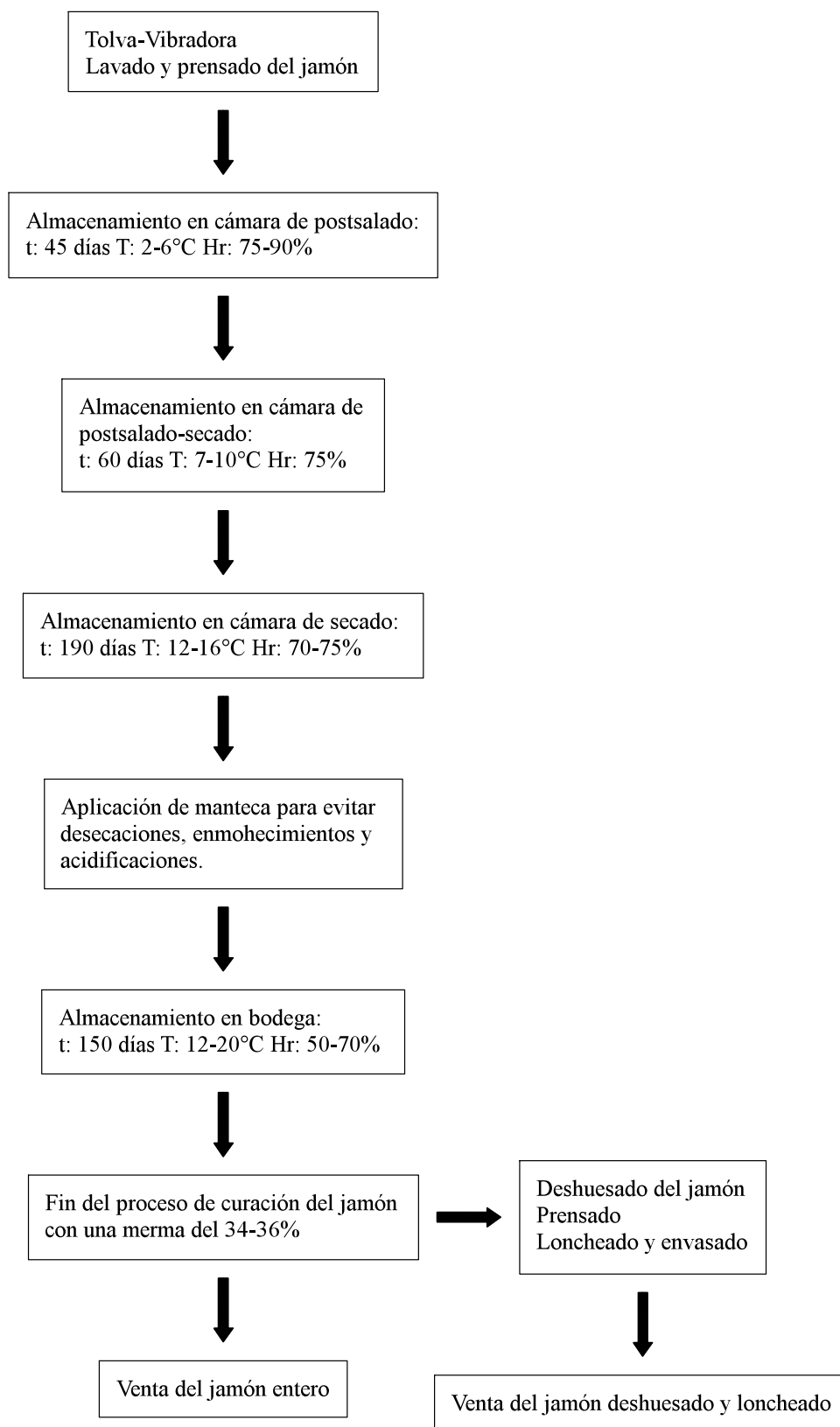
El proceso de fabricación del jamón curado consta de las siguientes fases:

1. Fase de preparación y acondicionamiento de la materia prima. Esta etapa consiste en perfilar el jamón para conferirle el aspecto deseado tras su recepción; como puede ser jamón con pata, sin pata, corte en V... A su vez también se procede al desangrado de las piezas para evacuar la mayor parte de la sangre que ha podido quedar en las venas y arterias del jamón. En esta fase los jamones también son clasificados por peso. Esta operación puede ser llevada a cabo manualmente o mediante una clasificadora por peso la cual hace avanzar los jamones por una cinta transportadora que lleva integrada una balanza y expulsa el jamón en la bandeja correspondiente al peso. En esta etapa también se procede al marcado de las piezas para su trazabilidad.
2. Fase de almacenamiento y estabilización del producto. En esta fase el jamón es almacenado en una cámara de refrigeración cuyas condiciones de temperatura  $T$  y humedad relativa  $Hr$  son  $T=0-3^{\circ}\text{C}$   $Hr=85-90\%$ . El jamón es almacenado durante más de 48h para conseguir una refrigeración uniforme del jamón.
3. Fase de nitrificado y salado del jamón. La finalidad de esta etapa es la incorporación de sales del curado (nitratos y nitritos), coadyuvantes de las sales de curado (ascorbato, isoascorbato y azúcares) y sal común al jamón. La incorporación de estos aditivos tiene como objeto inhibir la aparición de patógenos y microorganismos alterantes, consiguiendo la estabilización microbiológica de la pieza. Las piezas son almacenadas cubiertas de sal en recipientes de acero inoxidable en la cámara de salazón. La cámara de salazón debe tener una temperatura entre 0 y  $4^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa en torno al 75-95 %. Las piezas permanecerán en la cámara de salazón con la relación de entre 0,65 y 2 días por kg de peso de jamón.
4. Lavado-cepillado. Esta etapa sirve para eliminar el residuo de sal de la superficie de las piezas. Finalizada la etapa de salazón se procede a la eliminación del exceso de sal, la cual se realiza lavando los jamones con agua fría con el objetivo de evitar la aparición de costras de sal durante el secado.

5. Postsalado o fase de maduración en frío. Las piezas deben permanecer en esta etapa al menos 45 días. El principal objetivo de esta fase es conseguir un reparto uniforme de la sal así como una pequeña deshidratación. Las condiciones de temperatura y humedad relativa de la cámara frigorífica son:  $T=0-6^{\circ}\text{C}$  y  $Hr=70-95\%$ . La humedad relativa ambiental es variable en función del secadero, velocidad del aire, carga, etc.. La humedad relativa debe ser lo suficientemente baja para que se elimine la humedad superficial en un periodo corto de tiempo y evitar así la formación del remelo y lo suficientemente alta para evitar el acortezamiento de las piezas.
6. Almacenamiento en cámara de postsalado-secado. En esta cámara los jamones permanecerán alrededor de 60 días en unas condiciones de temperatura y humedad:  $T=7-10^{\circ}\text{C}$  y  $Hr=75\%$ .
7. Almacenamiento en cámara de secado. Esta etapa es la de mayor duración, el tiempo mínimo de permanencia es de 110 días para obtener un jamón de larga curación. Con esto se consigue un mejor buqué, aspecto visual y coloración del jamón. En esta fase la temperatura puede ser incrementada gradualmente disminuyendo a su vez la humedad relativa. La temperatura máxima que puede ser alcanzada es de  $34^{\circ}\text{C}$  y la humedad relativa mínima será del  $60\%$ . En el caso de que se mantenga una temperatura más moderada, las condiciones del secadero son:  $T=12-16^{\circ}\text{C}$  y  $Hr\ 70-75\%$ . En este caso el tiempo de permanencia aumentará hasta unos 150 días. Si el incremento de la temperatura no es elevado se consigue evitar el acortezamiento de las piezas y la consiguiente pérdida de calidad del producto.
8. Aplicación de manteca sobre la superficie del jamón. Esta fase se realiza manualmente o mediante máquinas; las cuales aplican una pequeña capa de manteca sobre la pieza para evitar desecaciones, enmohecimientos y acidificaciones.
9. Almacenamiento en bodega para su envejecimiento. El tiempo de permanencia de las piezas en la bodega para obtener un jamón curado de larga curación dependerá de la textura final deseada. Este tiempo suele ser alrededor de 150 días y el control de la temperatura y humedad son fundamentales para obtener un producto de calidad al final del proceso. La temperatura en esta etapa se encuentra en torno a  $12-20^{\circ}\text{C}$  y la humedad relativa en torno al  $50-70\%$ .

El proceso descrito anteriormente corresponde al del jamón curado, aunque los tiempos de permanencia en cada etapa hacen que sea posible obtener la distinción de serrano. En el caso del jamón serrano la imagen 1.1 muestra el diagrama de flujo del proceso de curación que va a ser seguido en este proyecto.





**Figura 1.1:** Diagrama de flujo del proceso de fabricación del jamón serrano.



Existe a su vez una fundación sin ánimo de lucro, Fundación Jamón Serrano, a la cual están suscritas las empresas productoras de jamón serrano, que ha creado criterios más estrictos y mayores exigencias al producto y proceso. Esta asociación establece dos categorías de jamón serrano basándose en los tiempos empleados en cada caso:

- Reserva, para jamones de 12 meses de curación mínima.
- Gran reserva, para jamones de más de 15 meses de curación.

De acuerdo al diagrama de flujo de la figura 1.1 el tiempo de curación es superior a los 15 meses, de manera que el producto final será un jamón serrano gran reserva.

### 1.3.2. Dimensiones de los secaderos

La nave industrial está diseñada para que el flujo de la materia prima sea continuo de manera que los secaderos están dispuestos en el orden de las etapas respectivamente. En el plano 3.1 se puede observar la distribución en planta de la nave industrial.

A la hora de dimensionar los secaderos los factores a tener en cuenta son:

- Número de partidas que deben albergar.
- Distancia entre palés.
- Curva de distribución.
- Altura de los pales.

Cada secadero debe tener la capacidad suficiente para albergar el número de partidas correspondiente a las semanas de permanencia de las piezas en cada etapa. Cada partida está compuesta por 1500 jamones y éstos se van a distribuir en palés de las siguientes dimensiones: 1,2x1x2m (LxAxH) en los que se colocan 66 piezas por palé [6]. Por tanto, cada partida estará compuesta por 23 palés que a su vez se apilarán en doble altura, ya que los palés seleccionados son apilables y desmontables. El hecho de que se vayan a apilar en dos alturas es lo que determina la altura de los secaderos, que es 5m. El metro adicional de altura sirve para colocar los conductos del aire y poder maniobrar con las carretillas elevadoras. El hecho de apilar los palés implica que cada partida estará compuesta por 12 torres de palés.

En la cámara de salazón los jamones se almacenan en bañeras metálicas llenas de sal. Estas bañeras tienen una capacidad de 33 piezas y sus dimensiones son las siguientes: 1,2x1x1m (LxAxH) [6]. En este caso como la altura es menor, las bañeras se apilarán en torres de cuatro alturas. El número de bañeras necesarias para cada partida son 46 bañeras, lo que corresponde a 12 torres de bañeras.

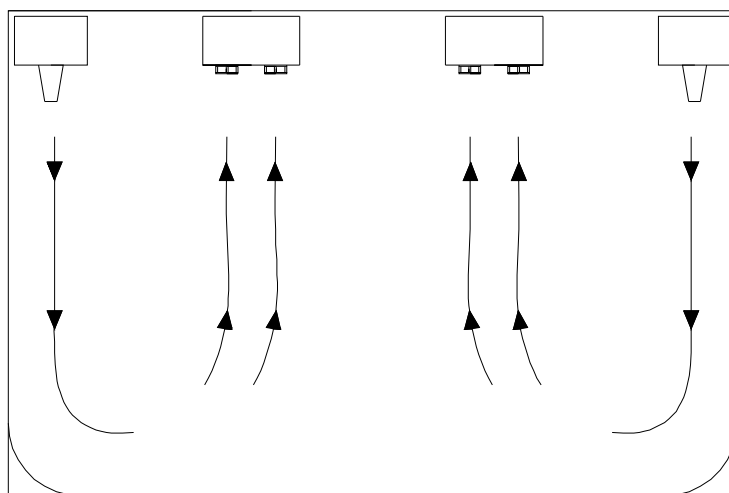
La tabla 1.1 resume el número de partidas que debe albergar cada secadero según la etapa del proceso de curación del jamón en que se encuentre.

**Tabla 1.1:** Capacidad de los secaderos y tiempo de permanencia de las piezas en cada etapa.

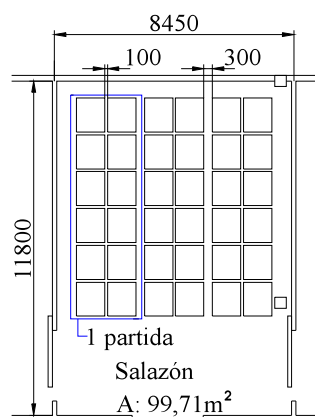
Secadero	t [días]	t [semanas]	Nº partidas	Nº jamones
Salazón	14	2	2	3000
Postsalado	45	6,43	7	10500
Postsalado-Secado	60	8,57	9	13500
Secado	190	27,14	28	42000
Bodega	150	21,43	22	33000

En el diseño de los secaderos se suele emplear una distancia entre pales de 10cm y una distancia de 30cm cada dos hileras de palés [18].

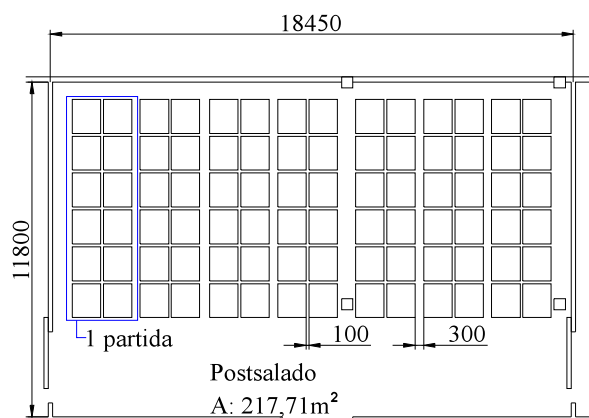
Para que el aire expulsado por las toberas se distribuya por los secaderos y no rebote contra el suelo se emplean curvas de distribución. En la imagen 1.2 se observa esta curva y la posición de las toberas de distribución. El radio de la curva es 60cm [18, 25] distancia que hay que prever en el dimensionado de cada secadero [25, 18].

**Figura 1.2:** Curva de distribución del aire expulsado por las toberas en los secaderos.

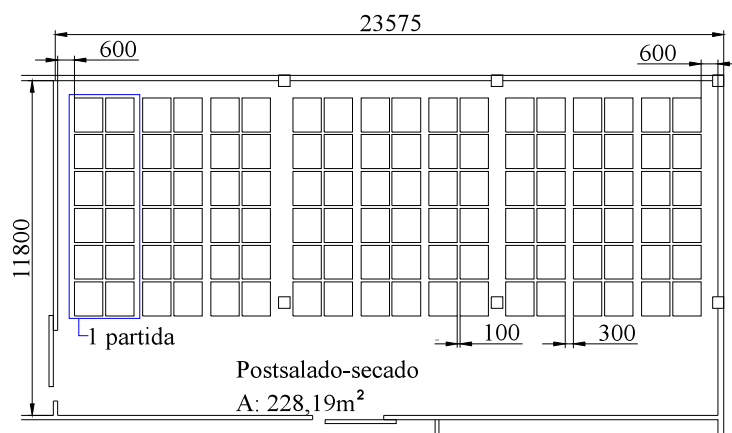
En las imágenes 1.3, 1.4 y 1.5 se muestran las dimensiones de la cámara de salazón y de los secaderos de postsalado y postsalado-secado. En ellas se puede observar el número de partidas que pueden albergar, sus dimensiones y área.



**Figura 1.3:** Dimensiones de la cámara de salazón.

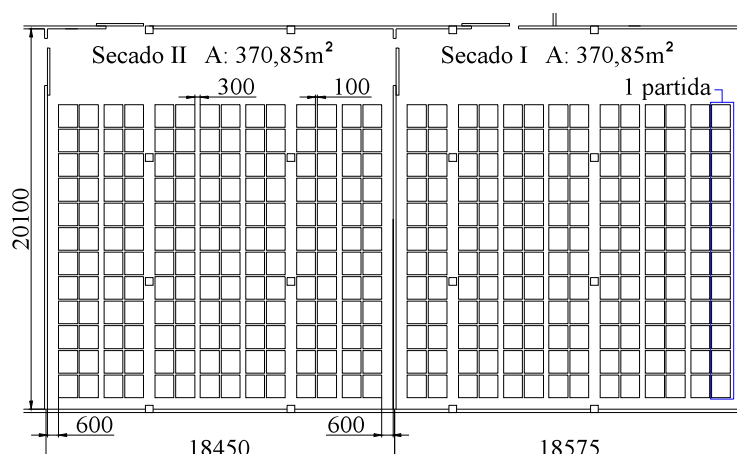


**Figura 1.4:** Dimensiones del secadero de postsalado.

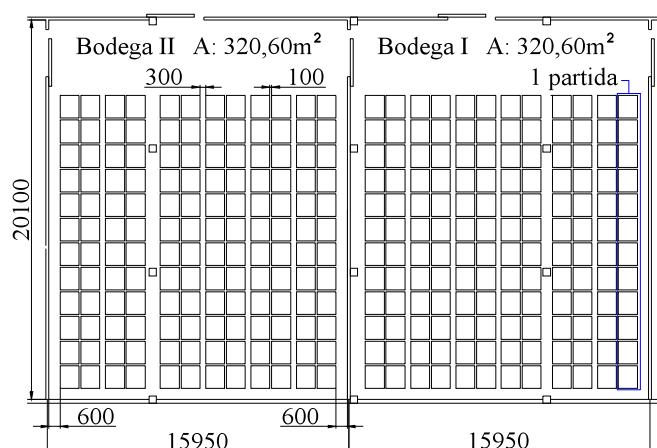


**Figura 1.5:** Dimensiones del secadero de postsalado-secado.

En el caso de los secaderos de secado y bodega, estos se van a dividir en dos cada uno. Esta división es debido a que sería necesario un caudal de aire muy elevado para que se distribuya por el secadero. Además esto va a permitir usar la tecnología twin, que consiste en que dos secaderos comparten la misma instalación frigorífica y mediante accionamientos mecánicos el aire se hace circular por un secadero u otro. Por tanto se va a diseñar una instalación frigorífica que va a servir para ambos secaderos de secado y otra para ambos secaderos de bodega. Esto implica que la potencia frigorífica va a ser menor con el menor consumo energético que esto conlleva. Las imágenes 1.6 y 1.7 muestran las dimensiones de los secaderos de secado y bodega.



**Figura 1.6:** Dimensiones del secadero de secado.



**Figura 1.7:** Dimensiones del secadero de bodega.

### 1.3.3. Condiciones de proyecto

En esta sección se van a explicar las condiciones exteriores de proyecto así como las condiciones de proyecto interiores para cada secadero.

#### 1.3.3.1. Condiciones exteriores de proyecto

La nave industrial se emplaza en Pamplona por lo que las condiciones exteriores de proyecto son:  $T_{ext}=32^{\circ}\text{C}$  y  $Hr=51\%$  [21]. Estas condiciones corresponden al verano, ya que en el diseño de una instalación frigorífica ésta debe dimensionarse para la situación más desfavorable.

#### 1.3.3.2. Condiciones interiores de proyecto

Las condiciones interiores de proyecto vienen determinadas por la aplicación de la instalación. En el caso del secado del jamón las condiciones de cada secadero vienen determinadas por la etapa del proceso de producción del jamón. En la tabla 1.2 se muestran las condiciones interiores de los secaderos de jamones según la etapa en la que se encuentra. En este proyecto se realiza el diseño de las etapas de postsalado, postsalado-secado, secado y bodega. La etapa de salazón no se calcula ya que el fin de esta etapa es que la sal penetre en toda la pieza durante un tiempo marcado por los kilos de la pieza. Es decir, su función principal no es el secado de las piezas. La pérdida de agua que se produce en la etapa de salazón no es debido a la circulación de aire ya que los jamones se encuentran recubiertos de sal y se trata de frío estático.

**Tabla 1.2:** Condiciones interiores de proyecto para cada secadero.

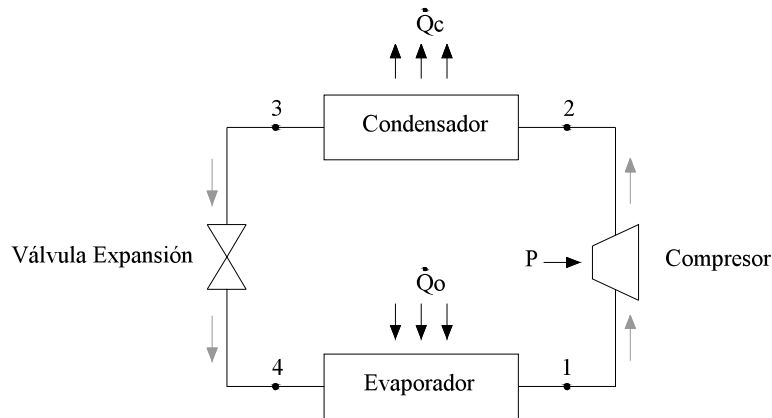
Secadero	$T_i$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$Hr$ [%]
Salazón	2	95
Postsalado	3	85
Postsalado-Secado	8,5	75
Secado	14	70
Bodega	16	65

Para el cálculo de la pérdida de calor a través de los cerramientos también son necesarias las temperaturas de las siguientes salas: salazón, pasillos, sala de deshuese y almacén de producto terminado. Las condiciones de la cámara de salazón están descritas en la tabla 1.2, la temperatura de la cámara de producto terminado se va a considerar igual a  $4^{\circ}\text{C}$  y finalmente la temperatura de los pasillos y de la sala de deshuese y envasado se va a considerar igual a  $15^{\circ}\text{C}$ .

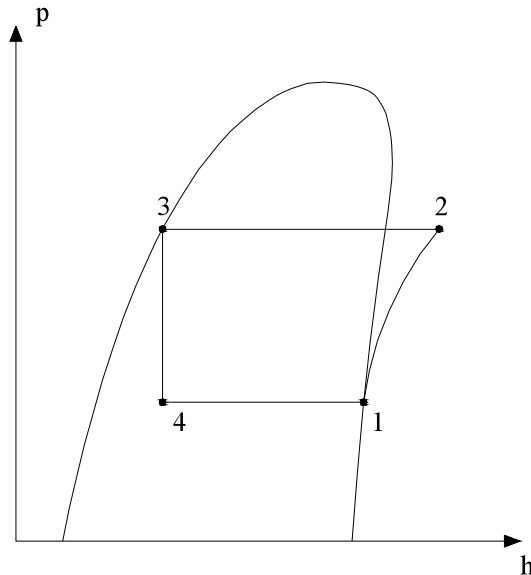
## 1.4. Sistema de compresión simple

En este capítulo se va a explicar de manera sencilla el funcionamiento de una instalación frigorífica de compresión simple de vapor. Primeramente se explicara el sistema de compresión de vapor simple ideal y después el sistema de compresión simple de vapor real.

El sistema de compresión simple de vapor tiene como elementos principales el compresor, condensador, válvula de expansión y el evaporador. En la imagen 1.8 se observan los cuatro componentes. A su vez en la imagen 1.9 se representa el ciclo de compresión simple ideal en un diagrama  $\log(p)$ -h.



**Figura 1.8:** Elementos principales del sistema de compresión simple de vapor.



**Figura 1.9:** Diagrama  $\log(p)$ -h del ciclo de compresión simple ideal.

En el evaporador el fluido frigorígeno se evapora, absorbiendo calor del medio que lo rodea y por tanto enfriando dicho medio. El fluido se encuentra en el evaporador a baja temperatura y baja presión.

Posteriormente el vapor procedente del evaporador pasa al compresor donde es comprimido y posteriormente expulsado al condensador. En el compresor el fluido refrigerante entra a baja temperatura y baja presión; saliendo a alta temperatura y alta presión. Este aumento de temperatura se debe al trabajo comunicado por el compresor al fluido.

En el condensador el fluido refrigerante se condensa. Se trata de un intercambiador de calor en el que el fluido se mantiene a alta presión.

Del condensador el fluido frigorígeno pasa a la válvula de expansión la cual tiene las siguientes funciones: regular la cantidad de líquido que pasa al evaporador y disminuir tanto la presión como la temperatura del fluido. El proceso que tiene lugar en la válvula de expansión es adiabático, isoentálpico e irreversible. A este proceso también se le denomina laminación. El líquido que procede del condensador atraviesa la válvula de expansión donde disminuye la presión, vaporizándose en parte al absorber del propio líquido energía y por tanto enfriándolo hasta la temperatura correspondiente a la presión de ese punto. Por esta razón a la salida de la válvula de expansión el fluido refrigerante se encuentra a baja presión y baja temperatura.

El ciclo ideal se caracteriza por los siguientes procesos:

- 1-2 Compresión isoentrópica, se trata por tanto de un proceso reversible. Esta compresión isoentrópica tiene lugar en la zona de vapor saturado con el objeto de aumentar la capacidad frigorífica y para evitar los golpes de líquido.
- 2-3 Condensación de los vapores procedentes del compresor. Este proceso es reversible, lo cual conlleva que la diferencia de temperatura entre el fluido refrigerante y el agente exterior sea infinitésima. Al ser la diferencia de temperaturas infinitésima es necesario una superficie infinita de transferencia de calor.
- 3-4 Expansión isoentálpica. A la salida de la válvula de expansión el fluido frigorígeno se encuentra a la presión de baja y es una mezcla de líquido y vapor.
- 4-1 Evaporación del fluido frigorígeno. A la salida del evaporador el fluido frigorígeno se encuentra en estado de vapor saturado. El proceso de evaporación es también reversible por lo que la diferencia de temperatura entre el fluido refrigerante y el agente exterior es infinitésima y por tanto la superficie de intercambio es infinita.

### 1.4.1. Ciclo real del sistema de compresión simple

El ciclo descrito anteriormente es el ciclo de compresión de vapor simple ideal en el que ciertas características imposibilitan su construcción real. Las diferencias fundamentales existentes entre el ciclo real y el ciclo ideal son:

#### Efecto de la temperatura de vaporización y condensación

La eficacia del ciclo de refrigeración depende considerablemente de la temperatura de condensación y de la temperatura de vaporización en mayor medida. Al aumentar la temperatura de vaporización mayor es el frío útil que se puede obtener ya que una menor fracción de refrigerante se habrá vaporizado en la válvula de expansión. Al ser mayor la capacidad frigorífica el caudal del fluido frigorígeno será menor y la diferencia de presiones entre la presión de condensación  $p_c$  y la presión de evaporación  $p_o$  será menor, lo que conlleva un menor trabajo de compresión.

El volumen de vapor aspirado por el compresor varía con la temperatura de vaporización siendo menor cuanto mayor es la temperatura de vaporización. A su vez como la potencia de compresión disminuye el calor eliminado en el condensador también disminuye.

Finalmente cuanto mayor es la temperatura de condensación mayor es el trabajo que debe realizar el compresor. Sin embargo el calor eliminado en el condensador por kg de refrigerante apenas varía.

#### Recalentamiento del vapor

En el ciclo ideal el vapor llega a la línea de aspiración del compresor como vapor saturado. En la realidad en los evaporadores una vez que el refrigerante se ha vaporizado completamente, éste sigue absorbiendo calor y por tanto aumenta su temperatura. A este tipo de recalentamiento se denomina recalentamiento útil ya que se produce por absorción de calor de la carga a refrigerar.

Existe otro tipo de recalentamiento, denominado menos útil. Este tiene lugar en la línea de aspiración al compresor y su nombre se debe a que no beneficia la refrigeración de la carga.

#### Subenfriamiento de líquido

Cuando el líquido refrigerante es subenfriado antes de que pase a la válvula de expansión se obtiene una mayor capacidad frigorífica ya que el título de vapor a la salida de la válvula de expansión es menor.

#### Pérdidas de presión

El refrigerante sufre pérdidas de carga por fricción a su paso por las tuberías, evaporador, condensador y válvulas.

Como consecuencia de la pérdida de carga en el evaporador, el refrigerante en estado vapor sale a una temperatura y presión menor y con un volumen específico



mayor. En este caso el compresor debe mover un caudal volumétrico mayor y la potencia requerida es mayor ya que la relación de compresión aumenta.

A su vez el compresor descarga el refrigerante a una presión mayor a la de condensación para contrarrestar las pérdidas de carga en el lado de alta presión, es decir en el condensador y resto de elementos que se puedan encontrar en esta zona. Cualquier pérdida de carga en el lado de alta presión se traduce en un aumento de la potencia suministrada por el compresor.

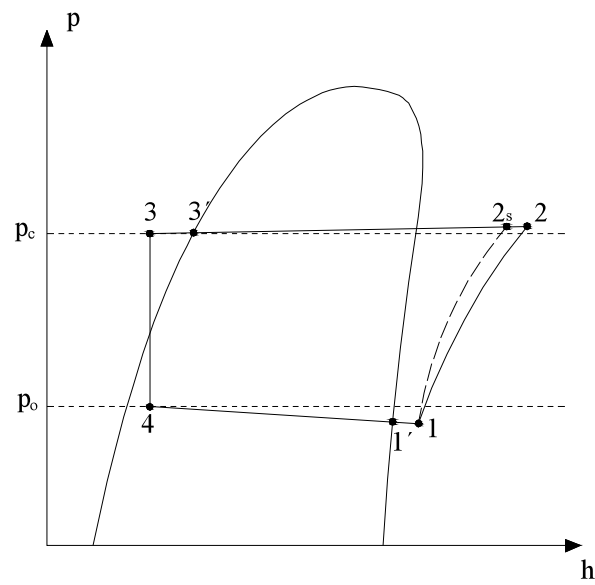
### **Comportamiento real del compresor**

El proceso de compresión real del refrigerante no es isoentrópico. En un compresor alternativo existe un espacio muerto en los cilindros, que se produce entre el pistón y la cabeza del cilindro. Los vapores que ocupan este espacio se reexpansionan en la carrera de admisión impidiendo que los cilindros se llenen completamente con vapores nuevos. Esto lleva a que exista un rendimiento volumétrico en los compresores. Este rendimiento volumétrico se define como la relación de volumen de admisión entre volumen desplazado en los cilindros.

A su vez existen otros factores que afectan al rendimiento del compresor. Estos factores son: la influencia de las válvulas de admisión y de escape, la presencia de incondensables y lubricante, la presencia de posibles fugas y la transferencia de calor a través de las paredes de los cilindros.

En la siguiente imagen 1.10 se muestra el digrama  $\log(p)$ - $h$  del ciclo real de compresión de vapor. Los números que aparecen en cada punto coinciden con los representados en el esquema de la figura 1.8. En ella se puede observar la caída de presión tanto en el lado de alta presión (condensador) como en el lado de baja presión (evaporador). La secuencia mostrada en dicha imagen es la siguiente:

- 1'-1 Grado de recalentamiento útil.
- 1-2s Compresión ideal isoentrópica del vapor proveniente del evaporador.
- 1-2 Compresión real realizada por el compresor.
- 2-3 Condensación del vapor proveniente de la descarga del compresor.
- 3'-3 Grado de subenfriamiento del líquido a la salida del condensador.
- 3-4 Expansión del fluido frigorígeno en la válvula de expansión.
- 4-1 Evaporación del fluido frigorígeno en el evaporador.



**Figura 1.10:** Diagrama log(p)-h del ciclo de compresión simple real.

## 1.5. Estimación de las necesidades frigoríficas

El cálculo de las necesidades frigoríficas tiene como base las condiciones exteriores y las condiciones interiores de proyecto. Dentro de las cargas térmicas que se tienen en cuenta a la hora de estimar la potencia frigorífica necesaria de un secadero hay que distinguir entre calor sensible y calor latente. Se denomina calor sensible a la forma de energía térmica que se manifiesta debido al cambio de temperatura seca en un ambiente. Por otro lado se denomina calor latente a la forma de energía térmica que se manifiesta en un ambiente debido a la variación de la humedad absoluta del ambiente al que se aplica. Por tanto la aportación de calor sensible afecta directamente a la temperatura de un ambiente mientras que el calor latente a la humedad absoluta del mismo.

En este capítulo se va a describir el cálculo de la potencia frigorífica necesaria para los secaderos dimensionados previamente pero el proceso es el mismo para cualquier otra aplicación.

### 1.5.1. Cálculo de la carga térmica de refrigeración

#### 1.5.1.1. Transferencia de calor de los productos

El proceso de refrigeración de los jamones conlleva dos sucesos: un cambio de temperatura debido al paso de las partidas de jamón de una etapa a la siguiente y un proceso de evaporación superficial del agua que poseen las piezas de jamón. Como consecuencia de ambos sucesos se produce un flujo de calor en las piezas de jamón. Por una parte los jamones absorben calor al pasar de una etapa a otra debido a que la temperatura en cada etapa va aumentando a lo largo del proceso de curación. En el proceso de evaporación superficial se produce una absorción de calor debido a la evaporación del agua de las piezas de jamón. De forma que la transferencia de calor de los productos  $\dot{Q}_{prod}$  es igual a:

$$\dot{Q}_{prod} = \dot{Q}_{s,prod} + \dot{Q}_{l,prod} \quad (1.1)$$

donde  $\dot{Q}_{s,prod}$  es el calor sensible de los productos y  $\dot{Q}_{l,prod}$  el calor latente de los productos

El calor que absorben las piezas de jamón debido al cambio de temperatura que sufren al pasar de una etapa o otra se calcula según la ecuación 1.2. En la tabla 1.3 se muestra el resultado de dicho flujo de calor en cada etapa o secadero.

$$\dot{Q}_{s,prod} = \dot{m}C_p\Delta T \quad (1.2)$$

donde  $C_p$  es el calor específico medio en kJ/kg y  $\dot{m}$  el flujo másico de jamones en kg/s.

**Tabla 1.3:** Transferencia de calor sensible de los jamones en el paso de una etapa a la siguiente, considerando  $C_p=2,53$  kJ/kg [22] y el tiempo en que las piezas de jamón alcanzan la temperatura final es  $t=6$  h.

Secadero	$\Delta T$ [°C]	$\dot{Q}_{s,prod}$ [W]
Postsalado	1	2192,67
Postsalado-Secado	5,5	10371,31
Secado	5,5	9437,89
Bodega	2	3226,04

En cada etapa del proceso de curación del jamón se produce una pérdida de peso debido a la evaporación superficial de agua. La pérdida de peso se produce por la existencia de una diferencia de tensión de vapor entra la carne y el ambiente. De manera que se produce un flujo de vapor de agua de las piezas al ambiente. El flujo de calor que se produce debido a este proceso de evaporación superficial se calcula de acuerdo la ecuación 1.3 donde  $h_{lv}$  es la entalpía de vaporización del agua y  $\dot{m}_{H_2O}$  el flujo de agua en kg/s que se evapora.  $\dot{m}_{H_2O}$  se calcula a partir de la merma que se produce por partida de jamones en cada etapa del proceso de curación y el tiempo considerado es una semana, ya que cada semana se realiza el cambio de una partida de jamones a la siguiente etapa y la entrada de otra. En la tabla 1.4 se muestra la masa inicial  $m_i$ , la masa final  $m_f$  de los jamones, la merma que se produce en cada secadero así como el flujo de calor total en cada etapa debido a la pérdida de agua de las piezas de jamón. La masa inicial de la pieza de jamón se considera 13kg, ya que es un valor intermedio. En la etapa de salazón se produce una merma del 4 % por lo que al secadero de postsalado las piezas llegan con una masa de 12,48kg.

$$\dot{Q}_{l,prod} = \dot{m}_{H_2O} h_{lv} \quad (1.3)$$

**Tabla 1.4:** Transferencia de calor latente de las piezas de jamón en cada etapa y merma de las piezas de jamón en cada etapa.

Secadero	$m_i$ [kg]	$m_f$ [kg]	merma [%]	$\dot{Q}_{l,prod}$ [W]
Postsalado	12,48	10,73	14	10833,33
Postsalado-Secado	10,73	9,77	9	5989,28
Secado	9,77	9,18	6	3633,5
Bodega	9,18	8,81	4	2276,99

En la ecuación 1.2 no se tiene en cuenta los sentidos de los flujos de calor, es decir si son positivos o negativos. A su vez el calor sensible de los productos favorece la refrigeración de los secaderos ya que al pasar de un secadero al siguiente aumentan su temperatura por lo que absorben calor del ambiente. Esta absorción de calor se va a producir únicamente durante las seis horas que tardan los jamones en alcanzar la temperatura final del secadero. Por ese motivo a la hora de hacer el balance energético para calcular la necesidad frigorífica de cada secadero  $\dot{Q}_{s,prod}$  no se va a considerar. Si se considerara esta carga, los secaderos se estarían dimensionando por debajo de lo necesario y al pasar de una etapa a otra los jamones no obtendrían la merma deseada.

### 1.5.1.2. Transferencia de calor a través de los cerramientos interiores y exteriores

El flujo de calor a través de los cerramientos interiores y exteriores  $\dot{Q}_{cerr}$  se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{cerr} = \frac{A\Delta T}{R_T} = UA\Delta T \quad (1.4)$$

donde  $R_T$  es la resistencia térmica total de los cerramientos,  $U$  la transmitancia de los cerramientos,  $\Delta T$  la diferencia de temperatura y  $A$  el área de transmisión.

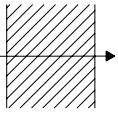
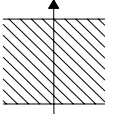
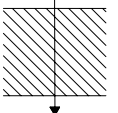
La resistencia térmica de una capa homogénea se define como el cociente del espesor de la capa  $e$  y la conductividad térmica del material  $k$ , según la ecuación 1.5. Asimismo la resistencia total  $R_T$  de un componente constituido por capas homogéneas se calcula como la suma de las resistencias de cada una de las capas que lo componen. En este caso la resistencia total se obtendrá de la suma de las resistencias térmicas superficiales exterior  $R_{se}$  e interior  $R_{si}$  y la del panel de poliuretano según la ecuación 1.6.

$$R_k = \frac{e}{k} \quad (1.5)$$

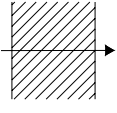
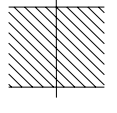
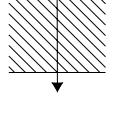
$$R_T = R_{si} + R_k + R_{se} \quad (1.6)$$

En este proyecto se van a emplear paneles de poliuretano tanto en las paredes interiores como en las que dan al exterior de la nave. La diferencia entre ambas paredes consiste en el espesor del panel. En las paredes interiores se emplearán paneles de 15cm de espesor y en las exteriores de 20cm.

Tanto  $R_{si}$  como  $R_{se}$  son obtenidos del Apéndice E del Documento Básico HE Ahorro de Energía [3] (ver imágenes 1.11 y 1.12).  $R_{se}$  toma el valor de  $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  en el caso de los cerramientos en contacto con el aire exterior y  $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  para los cerramientos interiores.  $R_{si}$  toma el valor de  $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  para ambos tipos de cerramientos. La tabla 1.5 muestra el flujo de calor a través de cada uno de los cerramientos de acuerdo a la numeración establecida de los cerramientos en el plano 3.4. del Documento 3: Planos.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub>
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

**Figura 1.11:** Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en  $m^2K/W$ .[3]

Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor		R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub>
<i>Particiones interiores</i> verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal		0,13	0,13
<i>Particiones interiores</i> horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente		0,10	0,10
<i>Particiones interiores</i> horizontales y flujo descendente		0,17	0,17

**Figura 1.12:** Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores en  $m^2K/W$ .[3]

**Tabla 1.5:** Flujo de calor a través de los cerramientos de los secaderos.

Pared	$A [m^2]$	$R_T [m^2K/W]$	$T_1 [^\circ C]$	$T_2 [^\circ C]$	$\Delta T [^\circ C]$	$\dot{Q}_{cerr} [W]$
1	59	6,78	3	2	1	8,7
2	92,25	8,87	32	3	29	301,75
3	92,25	6,78	15	3	12	163,23
4	59	6,78	8,5	3	5,5	47,85
5	117,875	8,86	32	8,5	23,5	312,45
6	117,875	6,78	15	8,5	6,5	112,98
7	59	8,86	32	8,5	23,5	156,39
8	100,5	8,87	32	14	18	204,05
9	92,875	6,78	15	14	1	13,7
10	92,875	8,87	32	14	18	188,56
11	100,5	6,78	14	14	0	0
12	92,25	6,78	15	14	1	13,6
13	92,25	8,87	32	14	18	187,3
14	100,5	6,78	14	16	2	29,64
15	79,75	6,78	15	16	1	11,76
16	79,75	8,87	32	16	16	143,93
17	100,5	6,78	16	16	0	0
18	79,75	6,78	15	16	1	11,76
19	79,75	8,87	32	16	16	143,93
20	59,75	6,78	15	16	1	8,81
21	40	6,78	4	16	12	70,77

### 1.5.1.3. Transferencia de calor a través de techo y suelo

El suelo de la nave va a estar compuesto por las siguientes capas: [4]

- Hormigón de limpieza,  $e=15\text{cm}$   $k=1,65\text{W/mK}$ .
- Lámina de polietileno,  $e=0,3\text{cm}$   $k=0,033\text{W/mK}$ .
- Poliestireno extruido,  $e=3\text{cm}$   $k=0,035\text{W/mK}$ .
- Lámina asfáltica,  $e=3\text{cm}$   $k=0,193\text{W/mK}$ .
- Hormigón armado,  $e=20\text{cm}$   $k=2,3\text{W/mK}$ .

Aplicando la ecuación 1.5 se obtiene la resistencia de cada una de las capas que componen el suelo y sumando todas ellas se obtiene una  $R_k=1,2\text{m}^2\text{K/W}$ . Para obtener la transmitancia del suelo de acuerdo al *Documento Básico HE Ahorro de Energía Apéndice E* es necesario calcular la resistencia del aislante  $R_a$ , que en este caso es el poliestireno extruido y la longitud característica  $B$ , que se define como el cociente de la superficie del suelo y la longitud del semiperímetro, según la ecuación:

$$B = \frac{A}{0,5P} \quad (1.7)$$

Con los valores de  $R_a = 0,86\text{m}^2\text{K/W}$  y  $B$  se obtiene la transmitancia térmica  $U_S$  de la tercera columna de la tabla E.3 del *Documento Básico HE Ahorro de Energía Apéndice E* (ver figura 1.13), ya que se ha considerado una capa de aislamiento sobre todo el terreno ( $D \geq 1,5\text{m}$ ). Los valores de la transmitancia térmica del suelo se obtienen interpolando los valores de dicha tabla. La temperatura del terreno que se ha considerado es  $22^\circ\text{C}$ . En la tabla 1.6 se muestra el resultado de la transferencia de calor a través del suelo  $\dot{Q}_{suel}$  en cada secadero.

B'	R <sub>a</sub>	D = 0.5 m					D = 1.0 m					D ≥ 1.5 m				
		R <sub>a</sub> (m <sup>2</sup> K/W)					R <sub>a</sub> (m <sup>2</sup> K/W)					R <sub>a</sub> (m <sup>2</sup> K/W)				
	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

**Figura 1.13:** Transmitancia térmica  $U_S$  en  $\text{W/m}^2\text{K}$ . [3]



**Tabla 1.6:** Transferencia de calor a través del suelo en los diferentes secaderos, considerando  $T_{\text{terreno}}=22^{\circ}\text{C}$ .

Secadero	$\Delta T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$U$ [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]	$\dot{Q}_{\text{suel}}$ [W]
Postsalado	19	0,461	1907,91
Postsalado-Secado	13,5	0,443	1663,68
Secado	8	0,383	1135,08
Bodega	6	0,405	778,66

En el caso del techo, este va a estar compuesto por las siguientes capas:[4]

- Panel de poliuretano,  $e=15\text{cm}$   $k=0,023\text{W}/\text{mK}$ .
- Bobedilla de hormigón convencional,  $e=30\text{cm}$   $k=1,58\text{W}/\text{mK}$ .
- Hormigón armado,  $e=10\text{cm}$   $k=2,3\text{W}/\text{mK}$ .

La resistencia térmica superficial exterior y la resistencia térmica superficial interior se obtienen de la tabla E.6 del *Documento Básico HE Ahorro de Energía Apéndice E* (ver imagen 1.12). En este caso se trata de una partición interior con flujo descendente ya que el piso superior a la hora del diseño se considera que tiene una temperatura igual a  $T_{\text{ext}}$ . Por tanto el valor de ambas resistencias superficiales es igual a  $0,17\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ . Teniendo en cuenta las resistencias de cada una de las capas que componen el techo así como las resistencias superficiales  $R_T$  toma el valor de  $7,01\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ . En la tabla 1.7 se muestra el flujo de calor obtenido a través del techo  $\dot{Q}_{\text{tech}}$  en cada secadero.

**Tabla 1.7:** Transferencia de calor a través del techo. Se considera que en el piso superior  $T = T_{\text{ext}}=32^{\circ}\text{C}$ .

Secadero	$A$ [ $\text{m}^2$ ]	$T_i$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$\Delta T$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	$\dot{Q}_{\text{tech}}$ [W]
Postsalado	217,71	3	29	889,85
Postsalado-Secado	278,19	8,5	23,5	921,39
Secado	370,85	14	18	940,82
Bodega	320,6	16	16	722,97

Como se observa en la ecuación 1.4  $R_T$  es la inversa de la transmitancia  $U$ . De acuerdo al *Documento Básico HE Ahorro de Energía Apéndice E* [3], existen unos valores máximos de  $U$  que no deben superarse en las particiones en función de la zona climática donde se vaya a realizar el proyecto. Pamplona pertenece a la zona D1, y de acuerdo a ello los valores máximos de las transmitancias térmicas son:

- Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno:  $0,66\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ .
- Transmitancia límite de suelos:  $0,49\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ .
- Transmitancia límite de cubiertas:  $0,38\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ .

En la tabla 1.8 se comprueba que los valores de las transmitancias obtenidas para los cerramientos están por debajo de los valores límites para la zona D1.

**Tabla 1.8:** Comprobación de la transmitancia térmica.

Partición	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
Muros de fachada	0,113	≤ 0,66
Suelo Postsalado	0,461	≤ 0,66
Suelo Postsalado-Secado	0,443	≤ 0,66
Suelo Secado	0,383	≤ 0,66
Suelo Bodega	0,405	≤ 0,66
Techo	0,141	≤ 0,38

El techo de los secaderos se compara con la transmitancia límite de cubiertas ya que las condiciones del piso superior se consideran iguales a las condiciones exteriores de proyecto. El suelo de los secaderos se trata de una partición en contacto con el terreno por lo que la comparativa se realiza con la transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno. A su vez los valores obtenidos para las transmitancias del suelo de los secaderos son menores que el valor límite para la transmitancia de suelos. Por tanto se cumplen las exigencias de la limitación de la demanda energética.

#### 1.5.1.4. Calor generado por las personas

El personal de la empresa va a ceder energía al ambiente de los secaderos. Este aporte de calor a los secaderos es latente y sensible, con ello el cuerpo mantiene la temperatura corporal más o menos constante. Las ecuaciones 1.8 y 1.9 muestran el calor sensible y latente generado por las personas respectivamente.

$$\dot{Q}_{s,p} = C_S N \quad (1.8)$$

$$\dot{Q}_{l,p} = C_L N \quad (1.9)$$

donde  $C_S$  es el calor sensible emitido por una persona,  $C_L$  el calor latente emitido por una persona y  $N$  el número de personas que se encuentran trabajando en cada secadero.

Los valores de  $C_S$  y  $C_L$  se obtienen de tablas en función de la actividad que este realizando el personal. En el caso de un secadero de jamones se trata de trabajo en fábrica y por tanto  $C_S + C_L$  tiene un valor de 250 Kcal/h [2]. La tabla 1.9 muestra los valores del calor generado por el personal en cada secadero.

**Tabla 1.9:** Calor generado por las personas en cada secadero.[2]

Secadero	N	$C_S + C_L$ [Kcal/h]	$\dot{Q}_{s,p} + \dot{Q}_{l,p}$ [W]
Postsalado	1	250	290,7
Postsalado-Secado	1	250	290,7
Secado	1	250	290,7
Bodega	2	250	581,4

### 1.5.1.5. Calor generado por el alumbrado

Las luces son una fuente de calor sensible que hay considerar a la hora de realizar un proyecto de climatización. La ganancia de calor sensible debido al alumbrado  $\dot{Q}_{al}$  se calcula sumando la potencia de todas las luminarias en servicio. Generalmente las luminarias se clasifican en dos tipos: incandescentes y fluorescentes. En el caso de las luminarias fluorescentes, es necesario considerar el calor generado por las reactancias. Teniendo en cuenta este factor, el calor generado por las luminarias de tipo fluorescente es un 25 % superior al de la potencia útil de las luminarias. La ecuación 1.10 muestra el calor generado por el alumbrado  $\dot{Q}_{al}$  en el caso de las fluorescentes, donde  $P$  es la potencia de las luminarias y  $n$  el número de luminarias en cada sala.

$$\dot{Q}_{al} = 1,25Pn \quad (1.10)$$

En este proyecto se van a emplear luminarias fluorescentes, de manera que la tabla 1.10 muestra el calor generado por las luminarias en cada sala.

**Tabla 1.10:** Calor generado por el alumbrado en cada secadero.

Secadero	$n$	$P$ [W]	$\dot{Q}_{al}$ [W]
Postsalado	8	116	1160
Postsalado-Secado	10	116	1450
Secado	12	116	1740
Bodega	10	116	1450

### 1.5.1.6. Transferencia de calor debido a las renovaciones de aire

El aire que se encuentra en una cámara frigorífica se encuentra en contacto con los productos almacenados, por tanto adquiere una serie de gérmenes y olores. Esto lleva a que el aire debe renovarse cada cierto tiempo. La introducción de aire exterior se puede realizar de manera voluntaria mediante un equipo destinado a tal fin o de manera involuntaria debido a la apertura de puertas y ventanas (infiltraciones). El cálculo de la transferencia de calor sensible y latente debido a la renovación de aire en los secaderos se debe realizar de acuerdo a las condiciones exteriores de proyecto. El número mínimo de renovaciones de aire es una a la hora, por lo que se va a tomar este valor para el diseño de las instalaciones de los secaderos.

El cálculo del calor sensible debido a la renovación de aire se realiza de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{s,renov} = \dot{V} \rho_{aire} C_{p,aire} \Delta T \quad (1.11)$$

donde  $\dot{V}$  es el caudal de aire en  $m^3/s$ ,  $\rho_{aire}$  es la densidad del aire que normalmente se toma como  $1,2kg/m^3$  y  $C_{p,aire}$  es el calor específico del aire que se toma igual a  $1kJ/kg^\circ C$ .

La tabla 1.11 muestra los valores de la transferencia de calor sensible debido a las infiltraciones en cada secadero teniendo en cuenta una renovación de aire a la hora.

**Tabla 1.11:** Transferencia de calor sensible debido a la renovación de aire en cada secadero.

Secadero	$V [m^3]$	$\Delta T [^\circ C]$	$\dot{Q}_{s,renov} [W]$
Postsalado	1088,55	29	10522,65
Postsalado-Secado	1390,93	23,5	10895,58
Secado	1854,23	18	11125,35
Bodega	1602,93	16	8549,2

De igual forma, el calor latente debido a la renovación de aire se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{l,renov} = \dot{V} \rho_{aire} h_{lv} \Delta w \quad (1.12)$$

donde  $\Delta w$  es la diferencia de humedad absoluta del aire entre el aire de la cámara y el aire exterior,  $\rho_{aire}$  es la densidad del aire y  $h_{lv}$  es la entalpía de vaporización del agua.

La tabla 1.12 muestra los valores de la transferencia de calor latente debido a la renovación de aire en cada sala teniendo en cuenta una renovación de aire a la hora.

**Tabla 1.12:** Transferencia de calor latente debido a la renovación de aire en cada secadero, considerando  $h_{lv}=2500$  kJ/kg [23].

Secadero	$V [m^3]$	$w_i$ [kg/kg]	$w_e$ [kg/kg]	$\dot{Q}_{l,renov} [W]$
Postsalado	1088,5	0,003981	0,01527	10240,53
Postsalado-Secado	1390,93	0,005154	0,01527	11725,50
Secado	1854,23	0,006948	0,01527	12859,05
Bodega	1602,93	0,007344	0,01527	10587,65

Por tanto la transferencia total térmica debido a las renovaciones de aire es igual a la suma del calor latente y del calor sensible.

$$\dot{Q}_{renov} = \dot{Q}_{s,renov} + \dot{Q}_{l,renov} \quad (1.13)$$

#### 1.5.1.7. Calor generado por ventiladores, motores y bombas

En la instalación frigorífica los ventiladores, motores o bombas que se encuentran son una fuente de calor. Como se trata del diseño de la instalación frigorífica estos datos son desconocidos por lo que se suele realizar la aproximación de que  $\dot{Q}_{vent}$  supone un 10 % de la carga total hasta ahora descrita.

### 1.5.2. Balance energético

Una vez establecidas las cargas de refrigeración para la situación más desfavorable se realiza el balance de las cargas. Todas las cargas térmicas expuestas anteriormente se expresan en valores absolutos. Sin embargo hay que tener en cuenta el sentido de dichos flujos de calor a la hora de hacer el balance global. La ecuación 1.14 muestra la ecuación del balance frigorífico total.

$$\dot{Q}_{tot} = \sum \dot{Q} + 0,1 \sum \dot{Q} \quad (1.14)$$

El segundo término de la ecuación hace referencia al calor aportado por los ventiladores y motores de la instalación tal como se explicó en la sección 1.5.1.7. Como criterio de signos se van a considerar positivos los flujos de calor entrantes y negativos los flujos de calor salientes.

Una vez determinada la carga total para la instalación se emplea un coeficiente de seguridad con el que se pretende englobar las cargas no consideradas anteriormente como puede ser el calor suministrado en el tiempo de desescarche. Este coeficiente de seguridad *c.s.* suele ser de 1,1. Es decir se incrementa la carga total un 10 % más. A su vez hay que estimar el número de horas al día que va a estar funcionando el secadero ya que en el proceso de curación del jamón los secaderos no funcionan las 24 horas del día. Esto es debido a que si funcionaran continuamente se produciría un acortezamiento de las piezas de jamón. La necesidad frigorífica de diseño  $\dot{Q}_{o,dis}$  se calcula teniendo en cuenta el coeficiente de seguridad y el número de horas de funcionamiento de los secaderos de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{o,dis} = c.s. \cdot \dot{Q}_{tot} \frac{24}{t_{func}} \quad (1.15)$$

donde  $t_{func}$  representa el número de horas de funcionamiento de los secaderos al día y *c.s.* el coeficiente de seguridad.

El coeficiente de seguridad empleado para todas las instalaciones es de 1,1 ya que es el valor que se puede encontrar en la literatura [20]. La tabla 1.13 muestra la carga total de refrigeración necesaria en cada secadero, el tiempo de funcionamiento al día y la carga de refrigeración de diseño para cada uno de los secaderos.

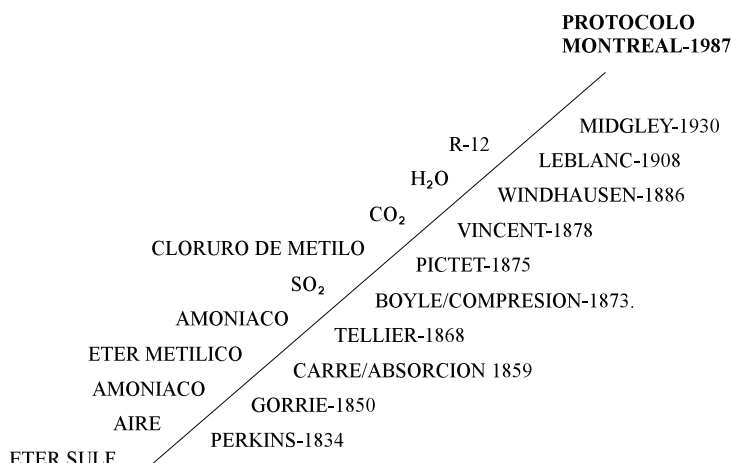
**Tabla 1.13:** Potencia frigorífica de diseño en cada secadero.

Secadero	$\dot{Q}_{tot}$ [W]	$t_{func}$ [h]	$\dot{Q}_{o,dis}$ [W]
Postsalado	39984,01	9	117286,43
Postsalado-Secado	36817,11	8	121496,46
Secado	35343,88	6	155513,07
Bodega	27499,40	6	120997,34

En el resto del proyecto a la carga de refrigeración de diseño se le denomina potencia frigorífica  $\dot{Q}_o$ .

## 1.6. Fluidos frigorígenos

En la figura 1.14 se muestra la evolución de los fluidos frigorígenos hasta el protocolo de Montreal en 1987. A inicios del siglo veinte, el alto grado de toxicidad e inflamabilidad impedían la instalación de los circuitos frigoríficos en edificios habitables. Estas circunstancias llevaron a la investigación de nuevos refrigerantes menos tóxicos e inflamables.



**Figura 1.14:** Evolución de los fluidos frigorígenos hasta el Protocolo de Monreal.[20]

W.H. Carrier y R.W. Waterfill iniciaron la búsqueda de nuevos refrigerantes para sus compresores centrífugos. En 1922 patentaron el dicloroetileno (R1130). A continuación en 1928, Thomas Midgley inició la búsqueda de un fluido para su uso en neveras domésticas; logrando en 1930 el desarrollo del R-12. De esta forma se inició el desarrollo de los CFC (clorofluorocarburos). Más tarde se desarrollaron los fluidos frigorígenos HCFC (hidroclorofluorocarburos) y HFC (hidrofluorocarburos).

El uso de los CFCs se intensificó a mediados del siglo veinte pero la hipótesis de Rowland y Molina cambió el rumbo del uso de los mismos. Según la hipótesis, los CFCs evacuados a la atmósfera se disociaban bajo la acción de los rayos ultravioletas del sol. Los iones cloro formados de dicha disociación podían destruir moléculas de ozono, disminuyendo la eficacia de la capa de ozono contra las radiaciones ultravioletas.

Esta hipótesis llevó a numerosos estudios para verificarla. Tras la evidencia de la pérdida de ozono en las capas superiores de la atmósfera se firmó en 1987 el Protocolo de Monreal, cuyo objetivo era reducir paulatinamente la producción de CFCs y otros agentes químicos que destruyen el ozono. En la Unión Europea el Reglamento 2037/2000 establece la prohibición del uso de los HCFC para el año 2015.

### 1.6.1. Denominación de los fluidos frigorígenos

Para evitar denominaciones complejas de los fluidos se establecieron normas de nomenclatura para los fluidos frigorígenos. Estas normas están recogidas en el Reglamento de Seguridad de Instalaciones Frigoríficas [5].

La nomenclatura simbólica alfanumérica de un refrigerante halogenado se establece a partir de su fórmula química. Esta denominación consiste en:

- El primer carácter empleado empezando por la izquierda es la letra R de refrigerante.
- La primera cifra de la derecha, en los compuestos que carezcan de bromo, indicará el número de átomos de flúor de su molécula.
- La segunda cifra de la derecha indicará el número de átomos de hidrógeno de la molécula más uno.
- La tercera cifra de la derecha indicará el número de átomos de carbono de su molécula menos uno. Si resultara cero no se indicará.
- El resto de enlaces se completarán con cloro.
- Si la molécula contiene átomos de bromo, se indicará añadiendo a la derecha una letra B mayúscula, seguida del número de dichos átomos.
- Los derivados cíclicos se expresan según la norma general añadiendo una C mayúscula a la izquierda del número del refrigerante.
- En los compuestos isómeros, la configuración que distribuya los pesos atómicos ligados a cada átomo de carbono mas uniformemente no posee letra alguna. Al aumentar la asimetría en pesos atómicos, se colocarán las letras a, b, c. etc.
- Los compuestos no saturados siguen las reglas anteriores, anteponiendo un uno como cuarta cifra comenzando por la derecha.
- Las mezclas azeotrópicas de refrigerantes se designan con un número de la serie 500 completamente arbitrario o mediante la denominación de cada uno de sus componentes intercalando, entre paréntesis, el porcentaje en peso correspondiente a cada uno. El orden de enumeración de los componentes se establece en orden creciente de su temperatura de ebullición a 1,013bar. La mezclas azeotrópicas se caracterizan por poseer propiedades similares a los fluidos puros, es decir tienen el cambio de estado a temperatura constante.
- Las mezclas zeotrópicas se designan arbitrariamente con la serie 400 o mediante la denominación de cada uno de sus componentes intercalando, entre paréntesis, el porcentaje en peso correspondiente a cada uno. El orden de enumeración de los componentes se establece en orden creciente de su temperatura de ebullición a 1,013 bar. En el caso de que dos mezclas zeotrópicas estén compuestas por los mismos componentes pero en distintas proporciones, se añadirán las letras A, B, C, etc., para distinguirlas. Las mezclas zeotrópicas muestran un cambio de temperatura durante la evaporación y condensación a diferencia de las sustancias puras.

- Los refrigerantes inorgánicos se designan añadiendo al número 700 los pesos moleculares de sus compuestos. Así el agua se designa como R-718 o el amoníaco como R-717. En el caso de que dos refrigerantes inorgánicos tengan los mismos pesos moleculares se utilizan las letras A, B, C, etc., para diferenciarlos.

### 1.6.2. Clasificación según el grado de seguridad

La seguridad es uno de los principales factores en la elección de un refrigerante. Las características óptimas para un refrigerante es que sea no inflamable, no tóxico y no explosivo.

Una clasificación ampliamente utilizada es la normalizada por el estándar americano ANSI/ASHRAE 34-2001. De acuerdo a la toxicidad los refrigerantes se clasifican en dos grupos:

- Grupo A: Refrigerantes cuya concentración media en el tiempo es igual o superior a 400 ppm en volumen y no tiene efectos adversos para la mayoría de los trabajadores que puedan estar expuestos en la jornada laboral.
- Grupo B: Refrigerantes cuya concentración media en el tiempo es inferior a 400 ppm en volumen y no tiene efectos adversos para la mayoría de los trabajadores que puedan estar expuestos en la jornada laboral.

Según la inflamabilidad de los refrigerantes, estos se clasifican en tres grupos de acuerdo a su límite inferior de inflamabilidad a presión atmosférica y temperatura ambiente.

- Grupo 1: Refrigerantes no inflamables en estado vapor a cualquier concentración en el aire.
- Grupo 2: Refrigerantes cuyo límite inferior de inflamabilidad, cuando forman una mezcla con el aire, es igual o superior al 3,5 % en volumen.
- Grupo 3: Refrigerantes cuyo límite inferior de inflamabilidad, cuando forman una mezcla con el aire, es inferior al 3,5 % en volumen.

En la imagen 1.15 se muestra la clasificación de los refrigerantes en grupos de seguridad de acuerdo a la toxicidad e inflamabilidad de los mismos.



		Grupo de seguridad	
Inflamabilidad creciente ↑ ↑	Altamente Inflamable	A3	B3
	Ligeramente Inflamable	A2	B2
	No inflamable	A1	B1
		Baja Toxicidad	Alta Toxicidad
		→ → Toxicidad creciente	

**Figura 1.15:** Clasificación de los fluidos refrigerantes en grupos de seguridad de acuerdo a su toxicidad e inflamabilidad.[5]

### 1.6.3. Impacto de los refrigerantes sobre el medio ambiente

Los criterios medioambientales se han convertido en factores cruciales a la hora de seleccionar el fluido frigorígeno adecuado. Existen dos criterios a tener en cuenta: la contribución al efecto invernadero y la acción sobre la capa de ozono.

A la hora de evaluar el impacto de los refrigerantes sobre el calentamiento global se emplea un parámetro denominado TEWI, Total Equivalent Warming Impact. Este parámetro engloba la contribución directa de las emisiones del refrigerante a la atmósfera así como la contribución indirecta de las emisiones de dióxido de carbono consecuentes del consumo energético del sistema de refrigeración durante su vida útil. El valor del TEWI no se calcula para un refrigerante dado, sino que depende a su vez de la aplicación en la que vaya a ser utilizado.

Los refrigerantes deben poseer la menor capacidad de producir efecto invernadero en el caso de no ser descompuestos antes de llegar a las capas altas de la atmósfera. Si no se tiene en cuenta la contribución indirecta de los refrigerantes al calentamiento global, el parámetro denominado potencial de calentamiento atmosférico indica el efecto invernadero producido por un fluido en relación a otro fluido tomado como referencia, generalmente  $CO_2$ . Este parámetro se encuentra en la literatura por su acrónimo en inglés *GWP*, Global Warming Potential.

De acuerdo a la acción sobre la capa de ozono, los refrigerantes deben tener un potencial de agotamiento de la capa de ozono igual a cero. El poder destructor de la capa de ozono cambia en los diferentes fluidos frigorígenos. Todos los fluidos regulados por el Protocolo de Montreal poseen un valor de ODP en relación con el R-11, que tiene asignado un  $ODP=1$ .

#### 1.6.4. Elección del fluido frigorígeno

El fluido frigorígeno que se va a emplear en las instalaciones de los secaderos es el R-404A. El refrigerante R-404A es una mezcla zeotrópica de los fluidos R-125, R-143a y R-134a. Las proporciones en tanto por ciento en peso son de 44, 52 y 4 % respectivamente. Este refrigerante pertenece al grupo A1, posee un potencial de agotamiento de la capa de ozono nulo y un potencial de calentamiento atmosférico elevado. Este refrigerante ha sido concebido como sustituto al R-22 y al R-502 para la refrigeración de bajas y medias temperaturas.

El R-404A es una mezcla y debe ser cargado en la instalación frigorífica en fase líquida desde la botella. Esto es debido a que si la carga se realiza en fase vapor la composición de la mezcla es errónea.

**Tabla 1.14:** Propiedades del refrigerante R-404A.[5]

R-404A	
Grupo de seguridad	A1
Composición %peso	R-125/R-143a/R-134a 44/52/4
Fórmula	$CF_3CHF_2 + CF_3CH_3 + CF_3CH_2F$
Masa molar [kg/kmol]	97,6
Temperatura de autoignición [°C]	728
Límite de inflamabilidad inf./sup.[ % v/v]	-/-
Potencial de calentamiento atmosférico	3260
Potencial de agotamiento de la capa de ozono	0

## 1.7. Componentes de una instalación frigorífica de compresión de vapor

La mayor parte de las instalaciones de refrigeración industrial, independientemente del tamaño, desde frigoríficos domésticos hasta grandes instalaciones industriales emplean el sistema de compresión de vapor para la producción de frío. En este capítulo se van a explicar los componentes de una instalación de compresión de vapor así como los seleccionados para la instalación frigorífica de los secaderos de jamones. Finalmente se muestra el esquema frigorífico de las instalaciones diseñadas.

### 1.7.1. Evaporador

El evaporador es el elemento encargado de la producción de frío mediante la absorción de calor del recinto a refrigerar. Esto es debido a la vaporización del líquido refrigerante que discurre a través del evaporador.

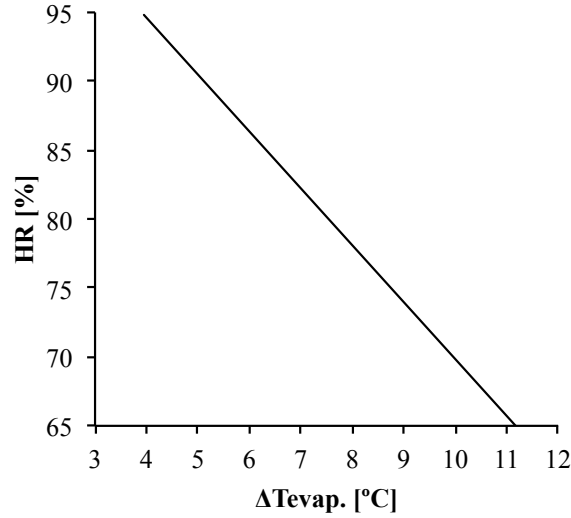
Es un intercambiador de calor que debe diseñarse de acuerdo a las necesidades frigoríficas. En cuanto a su construcción se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Evaporador de carcasa y tubos. Se emplean para enfriar líquidos.
- Evaporador de placa.
- Evaporadores de tubos y aletas

En un secadero los fluidos que atraviesan el evaporador son aire y el refrigerante por el interior los tubos. Por ese motivo el tipo de evaporador empleado son baterías de tubos y aletas de flujo cruzado, en el que el líquido refrigerante se evapora en el interior de los tubos y el aire circula por el exterior enfriándose.

La determinación de la temperatura de evaporación  $T_o$  se realiza de acuerdo a la temperatura de la cámara y humedad relativa. La gráfica 1.16 muestra la relación que debe haber entre la humedad relativa de la cámara y la diferencia de temperatura entre la temperatura de la cámara y la temperatura de evaporación.

De acuerdo a la gráfica de la imagen 1.16 el valor de la temperatura de evaporación  $T_o$  que se va a emplear en el diseño de la instalación frigorífica de cada secadero se obtiene a partir de las condiciones interiores de diseño de los diferentes secaderos, mostradas en la tabla 1.2. La tabla 1.15 muestra los valores de  $T_o$  empleados en el diseño de los secaderos. En el caso del secadero de postsalado, se ha determinado disminuir la temperatura de evaporación obtenida de la gráfica anterior dos grados. Para simplificar el diseño de las instalaciones, la temperatura de evaporación del secadero de secado y la de bodega van a ser iguales.



**Figura 1.16:** Relación entre la humedad relativa y la diferencia de temperatura entre la cámara y la temperatura de evaporación.[20]

**Tabla 1.15:** Temperatura de evaporación en cada secadero

Secadero	$T_o$ [°C]
Postsalado	-5
Postsalado-Secado	0
Secado	4
Bodega	4

La circulación del aire en el interior de la cámara y en el evaporador se consigue a través de ventiladores. La velocidad de paso del aire a través del evaporador debe ser alrededor de 1,8 m/s para evitar el arrastre de gotas de agua hacia el interior de la cámara [18]. Esta velocidad es la que va a limitar el área de paso del aire a través del evaporador. Dado el caudal de aire necesario para refrigerar cada cámara  $\dot{V}$  y la velocidad del aire  $v$ , el área de paso se obtiene según la expresión:

$$\dot{V} = vA_{paso} \quad (1.16)$$

La potencia intercambiada entre el aire y el refrigerante en el evaporador viene dada por la expresión:

$$\dot{Q}_o = US\Delta T_{lm} \quad (1.17)$$

en la que  $U$  es el coeficiente global de transmisión de calor,  $S$  superficie de transmisión de calor y  $\Delta T_{lm}$  la diferencia de temperatura logarítmica media. La diferencia de temperatura logarítmica media se expresa según:

$$\Delta T_{lm} = \frac{T_{ae} - T_{as}}{\ln \frac{T_{ae} - T_o}{T_{as} - T_o}} \quad (1.18)$$

donde  $T_{ae}$  es la temperatura del aire a la entrada al evaporador,  $T_{as}$  la temperatura del aire a la salida del evaporador y  $T_o$  la temperatura de evaporación.

Otro factor importante de los evaporadores es la distancia entre aletas. Esta distancia no puede ser muy pequeña ya que al producirse escarcha se obstruiría el paso del aire. Por ello la separación entre aletas suele ser mayor en el evaporador que en el condensador. La separación de aletas que se va a emplear en el diseño de los evaporadores para los secaderos es de 4,4mm, valor que se encuentra en el rango recomendado por fabricantes de baterías. [10]

### Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor del evaporador

En el caso de una batería de tubos y aletas el coeficiente global de transmisión de calor depende de cuál de las superficies exterior o interior se emplea en la ecuación 1.17. Generalmente se emplea el correspondiente a la superficie exterior y el coeficiente global se denomina coeficiente global exterior de transmisión de calor. Considerando una superficie cilíndrica de diámetro exterior  $D_e$ , diámetro interior  $D_i$  y conductividad térmica  $k$  el inverso del coeficiente global de transmisión de calor  $U$  se calcula según la ecuación 1.19.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i(D_i/D_e)} + \frac{D_e}{2k_{tub}} \ln \left( \frac{D_e}{D_i} \right) + \frac{1}{h_e} \quad (1.19)$$

donde  $h_i$  es el coeficiente de película interior y  $h_e$  el coeficiente de película exterior.

De todos los factores que aparecen en la ecuación 1.19 los factores mas significativos son los coeficientes de película interior y exterior. La resistencia al paso del flujo de calor por los metales de las tuberías es muy pequeña en el caso del cobre y del aluminio.

El cálculo del coeficiente de película interior se puede calcular con la expresión de Foster y Zuber (1955) para la ebullición nucleada en un cilindro horizontal, ecuación 1.20.

$$h_{i,evap} = 0,00122 \frac{k_l^{0,79} C p_l^{0,45} \rho_l^{0,49}}{\sigma^{0,5} \mu_l^{0,29} h_{lv}^{0,24} \rho_v^{0,24}} (T_w - T_s)^{0,24} (p_w - p_s)^{0,75} \quad (1.20)$$

donde:

- $k_l$  conductividad térmica del refrigerante líquido.
- $C p_l$  calor específico del líquido.
- $\rho_l$  densidad del líquido.
- $\rho_v$  densidad de vapor.
- $h_{lv}$  calor latente de vaporización.
- $\mu_l$  viscosidad dinámica del líquido.
- $T_w$  temperatura de la superficie de la pared.
- $T_s$  temperatura de saturación del líquido en ebullición.
- $p_w$  presión de saturación correspondiente a la temperatura de la superficie de la pared.
- $p_s$  presión de saturación correspondiente a la temperatura de ebullición.
- $\sigma$  tensión superficial del líquido.

El fenómeno de ebullición nucleada se caracteriza por la formación de burbujas de vapor en el interior de los tubos del evaporador que aumentan progresivamente de tamaño, se desprenden y ascienden hasta la superficie de líquido donde estallan

liberando el vapor. En esta fase el flujo del refrigerante está muy agitado y esto tiende a intensificar el proceso de transmisión de calor.

En el exterior de los tubos se disponen aletas para aumentar la superficie exterior para la transmisión de calor por convección con el aire. Con objeto de relacionar la capacidad de intercambio de calor de la superficie con aletas y el máximo calor que se puede extraer en la superficie aleteada se define el concepto de eficiencia. La eficiencia de las aletas depende del material del que estén hechas y de sus dimensiones. Normalmente se construyen de materiales de alta conductividad térmica y los valores típicos para la eficiencia para las aletas de cobre y aluminio son: 0,9-0,95.

Para el caso de un haz de tubos con aletas sencillas transversales y flujo cruzado a los tubos la ecuación obtenida por Briggs y Young (1963) 1.21 da una buena aproximación para el coeficiente de película exterior.

$$Nu = 0,134 Re^{0,681} Pr^{0,33} \left[ \frac{p_{alet} - w_{alet}}{L_{alet}} \right]^{0,2} \left[ \frac{p_{alet}}{w_{alet}} \right]^{0,1134} \quad (1.21)$$

donde:

- $Re$  número de Reynolds.
- $Pr$  número de Prandlt.
- $L_{alet}$  altura de las aletas.
- $p_{alet}$  paso de aleta, distancia entre aletas.
- $w_{alet}$  grosor de las aletas.

El número de Reynolds se define como la razón de las fuerzas de inercia respecto a las fuerzas viscosas de acuerdo a la ecuación 1.22. Este número es el que determina si el flujo de un fluido es laminar o turbulento. En este caso el número de Reynolds se calcula para el tubo desnudo, asumiendo que las aletas no existen. El número de Prandlt se calcula según la ecuación 1.23. Tanto el número de Reynolds como el número de Prandlt son números adimensionales.

$$Re = \frac{\rho v D_e}{\mu} \quad (1.22)$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (1.23)$$

Una vez obtenido el número de Nusselt a partir de la ecuación 1.21 se puede obtener el valor de  $h_e$  de acuerdo a la ecuación 1.24.

$$Nu = \frac{h D_e}{k} \quad (1.24)$$

En el diseño de las baterías de los evaporadores se va a emplear un valor de eficiencia de las aletas del 0,9. Por tanto el coeficiente global de transmisión de calor disminuye.

Otros factores que hay que tener en cuenta a la hora del cálculo del coeficiente global de transmisión de calor son la suciedad y la escarcha que se acumulan en el exterior de los tubos. En el interior de los tubos la suciedad es debida a la presencia de aceite del compresor. Para tener en cuenta estos factores el coeficiente global de transmisión de calor obtenido de la ecuación 1.19 se va a corregir con un factor

de 0,8. Por tanto el coeficiente global de transmisión de calor en el diseño de los evaporadores queda  $U_{dis} = 0,8U$ . [26]

En la tabla 1.16 se pueden observar los valores obtenidos para los coeficientes de película exterior e interior así como el coeficiente global de transmisión de calor de diseño para los evaporadores de los secaderos de jamones. Las propiedades del aire y del refrigerante son calculadas con la ayuda de CoolPack. [19]

**Tabla 1.16:** Coeficiente global de transmisión de calor empleado en el diseño del evaporador de cada secadero.  $h_e$  y  $h_i$  representan los coeficientes de película exterior e interior respectivamente.

Secadero	$U_{dis} [W/m^2 K]$	$h_i [W/m^2 K]$	$h_e [W/m^2 K]$
Postsalado	23,94	2776,17	33,68
Postsalado-Secado	24,16	3112,92	33,95
Secado	23,79	3827,15	33,35
Bodega	23,74	4621,24	33,23

Empleando el software Coolpack para el cálculo de la diferencia de temperatura logarítmica media, las baterías evaporadoras diseñadas para cada secadero son las que se muestran en la tabla 1.17. La nomenclatura empleada es la suministrada por Frimetel, empresa dedicada a la producción de productos para las instalaciones frigoríficas. [10]

**Tabla 1.17:** Modelos de las baterías evaporadoras diseñadas para cada secadero de acuerdo a las necesidades frigoríficas.

Secadero	Modelo de batería evaporadora Frimetel
Postsalado	BAT EVAP 30/21/2500/4,4/60
Postsalado-Secado	BAT EVAP 30/12/3300/4,4/60
Secado	BAT EVAP 36/10/4000/4,4/60
Bodega	BAT EVAP 36/6/3400/4,4/60

#### 1.7.1.1. Desescarche

El aire húmedo que atraviesa el evaporador por la superficie aleteada puede considerarse como una mezcla de aire seco y humedad. Al pasar a través del evaporador parte de esa humedad se deposita en forma de escarcha sobre la superficie si se cumplen las siguientes condiciones:

- La temperatura de la superficie del evaporador está por debajo de 0°C.
- La temperatura de la superficie del evaporador es inferior a la temperatura de rocío del aire húmedo circundante.

Es decir cuanto mayor humedad tenga el aire interior de la cámara y menor sea la temperatura del refrigerante que circula por el evaporador mas escarcha se formará. Esta escarcha dificulta la transmisión térmica entre el aire y el refrigerante, pudiendo impedir el paso del aire a través del evaporador. Esto lleva a la necesidad de realizar ciclos de desescarche en el evaporador, lo cual reduce la eficiencia de la instalación.

Los sistemas de desescarche más empleados son:

- Desescarche natural.
- Desescarche por resistencias eléctricas.
- Desescarche por gas caliente.
- Desescarche por agua.
- Desescarche por inversión de ciclo.

### **Desescarche natural**

En este tipo de desescarche, la escarcha se deshace por el paso del aire. Para ello el compresor deja de funcionar mientras que los ventiladores que hacen circular el aire a través del evaporador se mantienen encendidos. El aire que mueven los ventiladores se va calentando y derritiendo la escarcha formada. Uno de los principales problemas que muestra este tipo de desescarche es el tiempo elevado de desescarche.

Este tipo de desescarche está limitado a cámaras con temperatura positiva y con temperaturas de evaporación no muy bajas.

### **Desescarche por resistencias eléctricas**

El desescarche por resistencias eléctricas consiste en la colocación de resistencias eléctricas en el evaporador, las cuales por efecto Joule deshacen la escarcha acumulada cuando se ponen en marcha.

Durante el funcionamiento de las resistencias los ventiladores deben estar apagados para evitar que el calor de las resistencias pase al interior de la cámara. A su vez suele ser necesario la instalación de resistencias adicionales en la bandeja de desagüe y en el tubo de desagüe.

El desescarche por resistencias eléctricas se caracteriza por una instalación no muy costosa y sencilla ya que no hay que añadir modificaciones al ciclo de la instalación. Sin embargo las principales desventajas son el elevado consumo eléctrico de las resistencias y en ocasiones, si hay mucha escarcha acumulada el tiempo de desescarche es elevado y puede influir en la temperatura de la cámara.

### **Desescarche por gas caliente**

En este sistema de desescarche la propia instalación frigorífica es la encargada de suministrar el aporte de calor necesario para fundir la escarcha. El vapor caliente procedente de la descarga del compresor se deriva al evaporador, consiguiendo el deshielo de la escarcha.

Los inconvenientes de este sistema son:

- Es necesario realizar una modificación a la instalación frigorífica.
- Los motores de los compresores funcionan más tiempo, con el consecuente consumo eléctrico.
- Es posible la entrada de líquido al compresor.



El tercer inconveniente es debido a que el gas a alta temperatura y presión procedente de la salida del compresor al circular por el evaporador puede condensar una parte. Si este líquido retorna al compresor podría dañarlo. Una solución para evitar esta situación sería la colocación de una botella de aspiración entre el evaporador y el compresor. Se trata de una botella en la que el líquido se mantiene hasta que se reevapora.

### **Desescarche por agua**

El desescarche por agua se consigue pulverizando agua sobre la superficie del evaporador. Este agua a presión funde la escarcha acumulada y limpia el evaporador. Este sistema es un buen método en las instalaciones en las que el sistema de condensación es por agua, ya que así se puede aprovechar el agua recalentada de la salida de los condensadores.

### **Desescarche por inversión de ciclo**

Este sistema consiste en invertir el ciclo de refrigeración durante el desescarche; es decir, el evaporador actúa como condensador consiguiendo el deshielo de la escarcha. El inconveniente de este sistema es la complicación de la instalación frigorífica.

Los posibles métodos a emplear para el desescarche en los secaderos de jamón son el desescarche por resistencias, desescarche por gas caliente o desescarche por inversión de ciclo. El método que se va a emplear es el de gas caliente, ya que la transmisión de calor para deshacer la escarcha es mejor que por resistencias y en el desescarche por inversión de ciclo la instalación de frío se complica. Para recoger los condensados producidos durante el desescarche se colocan bandejas de recogida debajo del evaporador.

## **1.7.2. Compresor**

El compresor es el elemento encargado de proporcionar la circulación del fluido refrigerante a lo largo de la instalación. El compresor cumple las siguientes funciones en la instalación frigorífica:

- Aumentar la presión del vapor hasta una presión tal, que pueda ser condensado por un agente externo. Este agente suele ser aire o agua en la mayor parte de las instalaciones.
- Absorción de los vapores de baja presión.

Los compresores empleados en las instalaciones frigoríficas se clasifican en dos grandes grupos: compresores volumétricos o de desplazamiento positivo y compresores dinámicos.

Compresores volumétricos o de desplazamiento positivo. En este tipo de compresores el aumento de la presión se consigue mediante la reducción del volumen ocupado por el vapor aspirado. Dentro de este grupo de compresores se encuentran: los compresores rotativos de paleta, los compresores rotativos de tornillo y los compresores alternativos.

Compresores dinámicos. El aumento de presión se consigue proporcionando energía cinética al flujo de vapor y transformándola en presión en un difusor. Un ejemplo de este tipo de compresores son los compresores centrífugos.

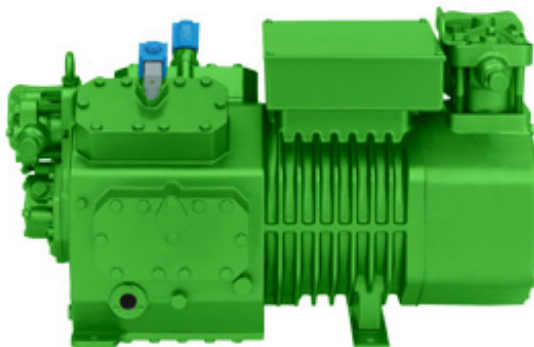
El tipo de compresor que se va a emplear en el diseño de la instalación frigorífica de los secaderos es el alternativo ya que es el que se emplea para medias potencias (15-600kW). En el compresor alternativo el aumento de presión se consigue mediante el movimiento longitudinal de un pistón en el interior de un cilindro en el que se encuentra encerrado el vapor. Dentro de los compresores alternativos se encuentran tres tipos:

- Compresores herméticos. En estos compresores tanto el motor de accionamiento como el compresor se encuentran en una única carcasa totalmente sellada, impidiendo la fuga de refrigerante. El devanado del motor eléctrico se pone en contacto con los vapores fríos procedentes del evaporador enfriándolo. De esta forma se consigue aumentar la vida útil del motor pero se obtiene un recalentamiento menos útil del vapor antes de su entrada a los cilindros. Sin embargo, no se pueden emplear fluidos frigorígenos que ataquen el cobre de los devanados. Por otro lado, no es necesaria una bomba para el aceite lubricante, ya que se realiza mediante salpicado a los órganos en movimiento. El campo de utilización de este tipo de compresores es el de las pequeñas máquinas domésticas.
- Compresores semiherméticos. En este caso la carcasa en la que se encuentran el motor y el compresor es accesible, y como consecuencia puede abrirse para reparaciones y mantenimiento. En este caso también es posible la colocación de una bomba para el aceite y así asegurar la correcta lubricación de todas las partes móviles. El campo de aplicación de este tipo de compresores es de las medias potencias.
- Compresores abiertos. En este caso se disponen dos carcasas diferentes; una para el compresor y otra para el motor de accionamiento. Ambas carcasas están unidas mediante una correa de transmisión, de manera que se evita el recalentamiento menos útil de los vapores antes de su entrada a los cilindros. Sin embargo aumenta el riesgo de fugas a través del acoplamiento entre motor y compresor aumentando también las pérdidas mecánicas. El campo de aplicación de los compresores abiertos es el de las altas potencias.

La empresa Bitzer dispone de un software en la que introduciendo los datos de la instalación se obtiene el compresor adecuado para el ciclo. En la tabla 1.18 se muestran los compresores semiherméticos empleados en cada instalación de acuerdo a las necesidades frigoríficas. En la imagen 1.17 se muestra un compresor semihermético Bitzer.[7]

**Tabla 1.18:** Modelos de compresores semiherméticos Bitzer empleados en cada instalación. [7]

Secadero	Modelo de compresor semihermético Bitzer
Postsalado	8FE-70Y-40P
Postsalado-Secado	8GE-60Y-40P
Secado	8FE-70Y-40P
Bodega	6FE-50Y-40P

**Figura 1.17:** Compresor semihermético Bitzer.[7]

### 1.7.3. Condensador

El condensador es el elemento encargado de condensar el refrigerante procedente de la salida del compresor. Se trata de un intercambiador de calor en el que un segundo fluido, el agente condensante debe tener la capacidad de absorber el calor cedido por el refrigerante. Se suelen emplear como agente condensantes aire, agua o ambas simultáneamente.

En la instalación frigorífica de un secadero de jamón hay dos condensadores. El condensador exterior y el condensador interior. El condensador exterior entra en funcionamiento cuando la instalación funciona en el ciclo de refrigeración. Sin embargo, en algunas ocasiones es necesario un aporte de calor a la cámara por el hecho de que la temperatura haya descendido demasiado y para el control de la humedad relativa. En este caso el ciclo del refrigerante circulará por el condensador interior, ciclo de calefacción.

Los condensadores se pueden clasificar de acuerdo al agente condensante en:

- Condensador de aire.
  - Convección natural.
  - Convección forzada.
- Condensador de agua.
  - Doble tubo.
  - Carcasa y tubos.

- Calandra.
- Condensador de aire-agua.
  - Torre de enfriamiento.
  - Condensador evaporativo.

El aire es un medio de condensación del que se puede disponer de manera gratuita ilimitadamente, por ello los condensadores de aire han experimentado un crecimiento en su uso tanto para aplicaciones domésticas como industriales. En los secaderos de jamones se emplea el aire exterior como medio condensante y la circulación del aire a través del condensador se realiza mediante ventiladores; por tanto se trata de ventilación forzada.

Los condensadores de convección natural únicamente se emplean para potencias muy reducidas. Esto es debido a que el caudal de aire que circula por el condensador es muy bajo y por tanto se requiere una gran superficie de contacto para potencias reducidas.

En los condensadores de convección forzada la configuración del condensador es de un haz de tubos provistos de aletas dando lugar a un intercambiador de flujo cruzado. Existen diferentes tipos de condensadores de acuerdo a su construcción y separación de aletas.

La temperatura de condensación para el condensador exterior que se va a emplear en el diseño de la instalación depende de las condiciones exteriores de proyecto y del tipo de condensador empleado. Para condensadores de aire de convección forzada la diferencia entre la temperatura de condensación  $T_c$  y  $T_{ext}$  suele ser de alrededor de 15°C. En el diseño de la instalación frigorífica de los secaderos se va a considerar una diferencia de temperatura de 15°C. De acuerdo a las condiciones exteriores de proyecto la temperatura exterior es de 32°C. Por tanto la temperatura de condensación de diseño para los ciclos de los secaderos es de 47°C.

El condensador exterior se va a seleccionar mediante el software que la empresa FRIMETAL posee para seleccionar el condensador adecuado. Frimetel fabrica condensadores con ventiladores axiales y centrífugos [10]. La serie de condensadores seleccionados para los secaderos de jamón es la serie CB, en la que los ventiladores están colocados paralelos a la batería de tubos y aletas tal como se observa en la imagen 1.18.



**Figura 1.18:** Condensador exterior con ventiladores axiales de la serie CB de Frimetel.

El condensador interior se diseña según el procedimiento descrito para el evaporador, ya que debe tener la misma sección de paso y se coloca encima del evaporador tal como se ve en la imagen 1.19. En el diseño de la batería del condensador interior la distancia entre aletas puede ser mucho menor que en el evaporador ya que no se produce escarcha en su superficie.



**Figura 1.19:** Condensador interior. En la imagen se puede observar que se sitúa encima del evaporador.

## Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor del condensador interior

El coeficiente global de transmisión de calor se calcula con la misma ecuación que para el evaporador, ecuación 1.19. A su vez el coeficiente de convección exterior se calcula con las mismas ecuaciones descritas para el cálculo del coeficiente de convección exterior del evaporador. Es decir, primero se obtiene el número de Nusselt según la ecuación 1.21 y posteriormente se despeja  $h_e$  de la ecuación 1.24. Para la eficiencia de las aletas se considera un valor de 0,9 como en el diseño de los evaporadores. A su vez la distancia entre aletas que se va a emplear en los condensadores interiores es de 4mm.

La condensación del refrigerante se realiza en el interior de los tubos. El flujo a la entrada será un flujo de vapor mientras que a la salida del condensador el flujo será líquido. En la parte intermedia el flujo estará compuesto por una fase líquida y una fase vapor. Para determinar el coeficiente de película interior para la condensación del refrigerante se analizarán dos modelos de flujo: anular y estratificado. Una vez determinados los dos coeficientes de película interior se seleccionará el valor más elevado del coeficiente para el diseño del condensador.

El modelo de flujo anular se caracteriza por altas velocidades de vapor y bajas de condensado. El coeficiente de película interior se puede obtener a partir de la ecuación de Boyko-Kruzhilin simplificada 1.25, asumiendo que el vapor entra en forma saturada y a la salida está totalmente condensado.

$$h_{i,an} = h_i' \cdot \frac{1 + \sqrt{\rho_l/\rho_v}}{2} \quad (1.25)$$

donde  $h_i'$  sería el coeficiente de película interior si el condensado llenase el tubo y estuviera fluyendo solo. Se calcula de acuerdo a la ecuación 1.26.

$$h_i' = 0,021 \frac{k_l}{D_i} Re^{0,8} Pr^{0,43} \quad (1.26)$$

El flujo estratificado se caracteriza por la condición límite de bajas velocidades de líquido y de condensado. El coeficiente de película se calcula a partir de la ecuación de Nusselt para condensación en tubos horizontales según la ecuación 1.27; aplicándole un factor de 0,8 para corregir la reducción del coeficiente debida a la acumulación de condensado en el fondo del tubo.

$$h_{i,estrat} = 0,8 \cdot 0,95 k_l \left[ \frac{\rho_l(\rho_l - \rho_v)g}{\mu_l \Gamma} \right]^{1/3} \quad (1.27)$$

donde  $g$  es la aceleración gravitacional y  $\Gamma$  el flujo de condensado por unidad de longitud en  $kg/ms$ .

Con la ayuda de Coolpack para el cálculo de las propiedades del aire y del refrigerante en cada situación, la tabla 1.19 muestra los valores de los coeficientes de película exterior, coeficientes de película interior tanto para flujo anular como estratificado y el coeficiente global de transmisión de calor. Al coeficiente global de transmisión de calor se le aplica un factor de corrección de 0,9 para tener en cuenta tanto la suciedad interior como exterior de los tubos. En este caso el factor de corrección es mayor que en el diseño del evaporador ya que no se va a producir



escarcha en el exterior de los tubos. El coeficiente global de transmisión de calor se calcula con el coeficiente de película exterior para flujo anular ya que tiene un valor mayor.

**Tabla 1.19:** Coeficiente global de transmisión de calor empleado en el diseño del condensador interior de cada secadero.  $h_e$  y  $h_i$  representan los coeficientes de película exterior e interior respectivamente.

Secadero	U [ $W/m^2K$ ]	$h_{i,an}$ [ $W/m^2K$ ]	$h_{i,est}$ [ $W/m^2K$ ]	$h_e$ [ $W/m^2K$ ]
Postsalado	26,02	2646,69	951,26	32,55
Postsalado-Secado	25,58	2669,95	1039,01	31,98
Secado	25,92	2951,21	1062,44	32,38
Bodega	25,68	2290,21	1117,68	32,18

En la tabla 1.20 se muestran los modelos de condensadores exteriores empleados en cada secadero así como la batería diseñada para el condensador interior de acuerdo a la nomenclatura utilizada por Frimetel. Las variables que se emplean a la hora de seleccionar el condensador exterior son la temperatura exterior de proyecto, la temperatura de condensación y la capacidad del condensador.

**Tabla 1.20:** Modelos de condensadores empleados en la instalación de cada secadero. [10]

Secadero	Condensador exterior	Condensador interior
Postsalado	CBS 226Y V	BAT COND 30/3/2500/4/60
Postsalado-Secado	CBS 226Y V	BAT COND 30/3/3300/4/60
Secado	CBS 301Y V	BAT COND 36/3/4000/4/60
Bodega	CBS 226Y V	BAT COND 36/3/3400/4/60

#### 1.7.4. Válvula de expansión

La válvula de expansión es el dispositivo encargado de disminuir la presión del refrigerante desde la presión de condensación hasta la presión de evaporación. A la entrada de la válvula de expansión el fluido se encuentra en estado líquido mientras que a la salida se encuentra en estado líquido y vapor. Este proceso se realiza a entalpía constante. Las funciones que tiene la válvula de expansión son por un lado disminuir la presión desde la presión de condensación hasta la de evaporación para poder evaporar el refrigerante a la temperatura deseada y regular el caudal de refrigerante que entra en el evaporador.

Los principales tipos de válvulas de expansión son:

- Válvula de expansión manual.
- Tubo capilar.
- Válvula de expansión presostática.
- Válvula de expansión termostática.
- Válvula de flotador.

### Válvula de expansión manual

Las válvulas de expansión manual se accionan manualmente y están formadas por un orificio en el que encaja un vástago que regula el caudal. Es necesario un operario que regule este tipo de válvulas en función de la carga térmica de la instalación. Por este motivo no se emplean en aplicaciones de refrigeración en las que la carga térmica varía.

### Tubo capilar

El tubo capilar consiste en una tubería de una longitud y diámetro determinado. El diámetro es muy pequeño por lo que la fricción del refrigerante a su paso por el tubo produce la caída de presión. Este tipo de expansor se emplea en pequeñas instalaciones domésticas.

### Válvula de expansión presostática

Las válvulas de expansión presostáticas mantienen la presión de evaporación constante independientemente de la carga térmica. En este tipo de expansores actúan dos fuerzas, una fuerza debida a la presión de evaporación y otra fuerza resultante de la acción de un resorte ajustada mediante un tornillo de regulación. Si la presión de evaporación disminuye, la válvula se abre permitiendo el paso de más fluido lo cual lleva a un aumento de la presión de evaporación. Al aumentar la presión de evaporación la válvula reduce el paso de fluido.

Este tipo de válvulas no se emplean en los sistemas en los que la carga térmica fluctúa, y su uso se limita a aplicaciones industriales en las que la carga térmica varía mínimamente.

### Válvula de expansión termostática

Las válvulas de expansión termostáticas se caracterizan por mantener constante el grado de recalentamiento útil a la salida del evaporador, asegurando que no llegue líquido al compresor. El grado de recalentamiento útil se define como la diferencia de temperatura entre la salida del evaporador y la temperatura de evaporación del refrigerante a la presión de evaporación. Para controlar el grado de recalentamiento útil se coloca un bulbo a la salida del evaporador, asumiendo que la temperatura del bulbo es la misma a la del refrigerante en ese punto.

El funcionamiento de la instalación con una válvula de expansión termostática es el siguiente:

- Si aumenta la carga térmica el refrigerante se evaporará rápidamente y por tanto el grado de recalentamiento aumenta. Esto lleva a la apertura de la válvula.
- Si la carga térmica disminuye, esto lleva a que el proceso de evaporación se ralentice con la consecuente disminución del grado de recalentamiento y la válvula se cierra.



- Cuando la instalación está parada, se produce un equilibrio térmico entre la entrada y salida del evaporador por lo que la válvula se cerrará.
- Cuando el compresor deja de funcionar después de un tiempo de funcionamiento, el grado de recalentamiento disminuye paulatinamente por lo que la válvula de expansión permite el paso de refrigerante al evaporador durante un tiempo. Esto lleva a que en el arranque siguiente del compresor se pueda producir un arrastre de líquido. Para evitar este problema se coloca una válvula de solenoide de todo o nada antes de la válvula de expansión, cerrando el flujo de refrigerante cuando es necesario.

Este tipo de válvulas son ampliamente utilizadas para aplicaciones industriales. Dentro de las válvulas termostáticas se encuentran las válvulas electrónicas. Las válvulas electrónicas se caracterizan por controlar el grado de recalentamiento útil con mayor precisión, hasta 1°C de recalentamiento útil.

### Válvula de flotador

Las válvulas de flotador tienen como objetivo mantener constante el nivel de fluido presente en un recipiente. Si varía el nivel de fluido una boya detecta dicho cambio y con su movimiento se restaura el equilibrio. Se emplean para evaporadores inundados, de gran potencia normalmente.

La válvula de expansión que se va a emplear en los secaderos es la termostática electrónica. Emerson Climate Technologies dispone de una hoja de cálculo en la que introduciendo las características de la instalación, te devuelven el tipo de válvula de expansión ALCO adecuada [9]. El modelo de válvula que se va a emplear para la instalación frigorífica de todos los secaderos es el modelo EX7-I21.

Para que la válvula de expansión funcione correctamente es necesario añadir el controlador de recalentamiento EC3-X33, un sensor de temperatura ECN-N60, un sensor de presión PT5-07M y el cable de ensamblaje del sensor de presión PT4-M60. Con el sensor de temperatura y presión, se determina el grado de recalentamiento a la salida del evaporador. El controlador se encarga de regular la válvula de expansión en función del valor establecido de grado de recalentamiento útil.

### 1.7.5. Ventiladores

El aire que circula por el interior de los secaderos es debido a la acción de los ventiladores. Un factor importante a la hora de elegir el ventilador adecuado es el caudal de aire  $\dot{V}$  necesario para asegurar que se expulse aire por todas las toberas de expulsión de aire y que por tanto se distribuya el aire en todo el secadero. Para determinar el caudal de aire necesario las empresas Greenfrio y Kide [11, 13] disponen de catálogos en los que muestran los caudales de aire necesarios para secaderos de jamones en función del número de piezas de jamón que pueden albergar.

La tabla 1.21 muestra los caudales de aire necesarios empleados en cada secadero para asegurar que el aire se distribuya por todo el secadero.

**Tabla 1.21:** Caudal de aire necesario en cada secadero.

Secadero	$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /h]
Postsalado	28700
Postsalado-Secado	38000
Secado	56000
Bodega	47600

Existen dos tipos de ventiladores de flujo axial y centrífugos. Las figuras 1.20a y 1.20b muestran un ventilador axial y un ventilador centrífugo respectivamente. Debido a las características de la instalación del evaporador y condensador interior el ventilador empleado en los secaderos de jamón es el centrífugo. La empresa Nicotra Gebhardt dispone de un software para la selección del ventilador adecuado según el caudal de aire necesario [14]. En la tabla 1.22 se muestran los modelos de ventilador Nicotra empleados.



(a) Ventilador axial.



(b) Ventilador centrífugo

**Figura 1.20:** Tipos de ventiladores. [14]**Tabla 1.22:** Modelo de ventilador Nicotra empleado en cada secadero.

Secadero	Modelo ventilador centrifugo
Postsalado	ADH-G2E7-0400
Postsalado-Secado	ADH-G2E7-0500
Secado	ADH-G2K2-0630
Bodega	ADH-G2E7-0560

### 1.7.6. Elementos accesorios

Los elementos principales de una instalación frigorífica son el compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador. Sin embargo, también son necesarios una serie de elementos sin los cuales la instalación no funcionaría correctamente. En este apartado se explican dichos componentes así como los seleccionados para las instalaciones de los secaderos de jamón.

### 1.7.6.1. Tuberías de refrigerante

Las tuberías de refrigerante deben asegurar la circulación de refrigerante por la instalación. Los diámetros de las tuberías vienen determinados por los componentes principales del sistema. El compresor va a determinar el diámetro de la tubería de aspiración y de la tubería de descarga. La válvula de expansión también va a determinar el diámetro de la tubería desde el recipiente de líquido hasta la entrada al evaporador.

Las tuberías deben tener la menor longitud posible, así como el menor número de cambios de sentido ya que esto se traduce en pérdidas de presión. Si se realizan una instalación compacta las pérdidas de carga en las tuberías que sirven de conexión entre los diferentes elementos pueden ser consideradas despreciables. Tanto el condensador exterior, el condensador interior y el evaporador están compuestos por intercambiadores de calor en los que las pérdidas de carga no se pueden despreciar y deben considerarse.

El material empleado en las tuberías depende del fluido frigorígeno que va a circular por ellas. En el caso de los refrigerantes halogenados se emplea cobre o acero. A su vez en algunos tramos de la instalación es necesario aislar las tuberías para evitar las pérdidas de calor a través de ellas.

Las pérdidas de carga se van a calcular de acuerdo a la expresión 1.28

$$\Delta p = \frac{fLv^2\rho}{D_i} \quad (1.28)$$

donde  $f$  es el coeficiente de fricción de la tubería,  $L$  la longitud de la tubería,  $v$  la velocidad del refrigerante,  $\rho$  la densidad del refrigerante y  $D_i$  el diámetro interior de la tubería.

El coeficiente de fricción de las tuberías depende de la viscosidad del fluido, del número de Reynolds y de la longitud y velocidad característica que en el caso de tuberías circulares corresponde al diámetro y a la velocidad media del fluido. Para determinar el coeficiente de fricción de los conductos existen diferentes expresiones de acuerdo a si se trata régimen laminar ( $Re \leq 2300$ ) o régimen turbulento ( $Re > 2300$ ). Cuando el régimen es turbulento existen diferentes expresiones dependiendo de si la rugosidad de la tubería es predominante o no. El número de Reynolds queda definido de acuerdo a la ecuación 1.29 donde  $\mu$  es la viscosidad dinámica. La ecuación 1.30 representa el coeficiente de fricción para régimen laminar. El coeficiente de fricción para régimen turbulento con influencia de la rugosidad relativa y del número de Reynolds se calcula de acuerdo a la ecuación 1.31.[24, 20]

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad (1.29)$$

- Régimen laminar  $Re \leq 2300$ .

$$f = \frac{64}{Re} \quad (1.30)$$

- Régimen turbulento  $Re > 2300$ .

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\kappa/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}}\right) \quad (1.31)$$

donde  $\kappa$  es la rugosidad de la tubería

En el caso de las tuberías de cobre el valor de  $\kappa = 0,0015\text{mm}$ . En la 1.23 tabla se muestran los valores de las pérdidas de presión en los evaporadores de cada secadero.

Las pérdidas de carga en los condensadores exteriores se van a considerar igual a  $0,25\text{ bar}$  ( $0,5^\circ\text{C}$ ) debido a la falta de datos técnicos facilitados por parte del fabricante de los condensadores exteriores seleccionados. Las pérdidas de carga en los condensadores interiores se muestran en la tabla 1.24.

**Tabla 1.23:** Pérdidas de carga en el evaporador de cada secadero.

Secadero	Pérdida de carga [bar]
Postsalado	0,28 ( $\cong 1,7^\circ\text{C}$ )
Postsalado-Secado	0,14 ( $\cong 0,75^\circ\text{C}$ )
Secado	0,16 ( $\cong 0,75^\circ\text{C}$ )
Bodega	0,19 ( $\cong 0,9^\circ\text{C}$ )

**Tabla 1.24:** Pérdidas de carga en el condensador interior de cada secadero.

Secadero	Pérdida de carga [bar]
Postsalado	0,07 ( $\cong 0,15^\circ\text{C}$ )
Postsalado-Secado	0,09 ( $\cong 0,2^\circ\text{C}$ )
Secado	0,15 ( $\cong 0,3^\circ\text{C}$ )
Bodega	0,07 ( $\cong 0,15^\circ\text{C}$ )

#### 1.7.6.2. Recipiente de líquido

En múltiples instalaciones las necesidades térmicas varían de manera que el caudal que circula por la instalación cambia. Esto lleva a la necesidad de un recipiente de almacenamiento del refrigerante. Este depósito recibe el nombre de recipiente de líquido o depósito de líquido y se encuentra situado entre el condensador y la válvula de expansión.

El recipiente de líquido debe tener la capacidad de albergar todo el líquido refrigerante de la instalación en las condiciones de presión y temperatura del lugar en que se encuentra. Esto es debido a que en operaciones de mantenimiento o reparación, sin la existencia de este recipiente se producirían pérdidas de refrigerante y emisiones de refrigerante a la atmósfera innecesarias. Esto lleva a la colocación de válvulas manuales a la entrada y salida del recipiente para poder aislarlo completamente. En la imagen 1.21 se muestra un recipiente de líquido.



**Figura 1.21:** Recipiente de líquido.

### Cálculo de la capacidad de refrigerante

Los fabricantes de recipientes de líquido poseen unas tablas en las que a partir de la potencia frigorífica de la instalación se determina el volumen de refrigerante necesario. La tabla 1.25 muestra los recipientes seleccionados del catálogo de Bitzer así como la carga de refrigerante necesaria en cada instalación. [7]

**Tabla 1.25:** Modelos de recipiente de líquido empleados en cada secadero y carga de refrigerante necesaria. [7]

Secadero	Modelo recipiente de líquido	Refrigerante [kg]
Postsalado	F2202N	170
Postsalado-secado	F2202N	150
Secado	F2202N	180
Bodega	F1602N	130

#### 1.7.6.3. Filtro deshidratador

El filtro deshidratador se encarga de eliminar la humedad de la instalación e impedir el paso de impurezas a la válvula de expansión. La presencia de agua en la instalación puede provocar los siguientes daños:

- Congelarse y obstruir el paso a través de la válvula de expansión.
- Corroer las piezas metálicas.
- Descomponer el aceite en ácidos que a altas temperaturas reaccionan con los metales formando lodos. Estos lodos pueden obstruir válvulas y dificultan el flujo de refrigerante por la instalación.

El filtro deshidratador debe cambiarse cada vez que se detecte humedad en el sistema y cada vez que se cambie alguno de los elementos principales del sistema. La presencia de agua en el circuito se puede deber a las siguientes causas:

- Introducción de humedad durante la fabricación del equipo.
- Insuficiente grado de vacío antes de la carga de refrigerante.
- Llenado de aceite que haya estado en contacto con el ambiente y que tenga por tanto humedad.
- Introducción de humedad durante las reparaciones.
- Recarga del sistema con refrigerante no seco.

La selección del filtro deshidratador para la instalación frigorífica de los secaderos de jamones se hace de acuerdo al diámetro de las tuberías de la instalación y a su vez se selecciona un filtro con núcleo intercambiable. Las ventajas de los filtros con núcleo intercambiable es que permiten cambiar el núcleo de los mismos en vez de cambiar el filtro entero cuando sea necesario. El filtro seleccionado para todas las instalaciones es el modelo CASTEL 4413/9A, ya que el diámetro de las tuberías coinciden [8]. La imagen 1.22 muestra un filtro deshidratador.



**Figura 1.22:** Filtro deshidratador.

#### 1.7.6.4. Visor de líquido

El visor de líquido es un dispositivo transparente que permite observar el flujo de refrigerante en la instalación. Se encuentra situado antes de la válvula de expansión y sirve para controlar las condiciones del refrigerante líquido, la regularidad del flujo y la ausencia de humedad.

Cuando la instalación se encuentra funcionando en condiciones normales el refrigerante se encontrará completamente en estado líquido. Pero si se observa la presencia de pequeñas burbujas, esto indica la evaporación parcial del líquido refrigerante a lo largo del circuito, lo que se conoce como flash-gas.

Para controlar la presencia de humedad en el líquido refrigerante, el visor posee un dispositivo sensible cuyo color varía en presencia de humedad. Si el grado de



humedad está por debajo de los valores máximos permitidos, el color del dispositivo es verde y si es superado este cambia a amarillo.

El visor de líquido que se va a emplear en los circuitos de los secaderos de jamón es de la empresa Castel y la selección del mismo se realiza de acuerdo al diámetro de las tuberías. Como en este tramo de la instalación el diámetro de la tubería coincide para todos los secaderos, el modelo empleado es el visor CASTEL 3840/9. En la imagen 1.23 se puede observar un visor de líquido.



**Figura 1.23:** Visor de líquido.

#### 1.7.6.5. Latiguillo antivibraciones

Se encuentran situados a la salida del compresor y su función es impedir que se transmitan las vibraciones del compresor al resto de la instalación. La selección de los mismos se realiza de acuerdo al diámetro de la línea de descarga del compresor. En la tabla 1.26 se muestran los latiguillos antivibraciones de la empresa CASTEL empleados según el diámetro de la tubería de descarga [8]. La figura 1.24 muestra un latiguillo antivibraciones a la salida del compresor.

**Tabla 1.26:** Modelos de latiguillos antivibraciones empleados de acuerdo a los diámetros de las tuberías. [8]

Diámetro tubería [in]	Modelo de latiguillo antivibraciones CASTEL
1 5/8"	7690/13
2 1/8"	7690/17



**Figura 1.24:** Latiguillo antivibraciones.

#### 1.7.6.6. Válvulas de cierre

Este tipo de válvulas se instalan para poder aislar los diferentes componentes del sistema y poder efectuar las diferentes operaciones de reparación. De esta manera se minimizan las pérdidas de refrigerante. En la instalación de los secaderos de jamón las válvulas que se van a emplear son válvulas de bola de accionamiento manual. La selección del modelo de válvula de cierre empleado es de acuerdo al diámetro de la tubería. En la tabla 1.27 se muestra las válvulas empleadas y en la imagen 1.25 se muestran dos válvulas de cierre de bola.

**Tabla 1.27:** Modelos de válvulas de cierre CASTEL empleadas de acuerdo a los diámetros de las tuberías. [8]

Diámetro tubería [in]	Modelo de válvula CASTEL
1 1/8"	6590/9A
1 3/8"	6590/11A
1 5/8"	6590/13A
2 1/8"	6590/17A
3 1/8"	6590/25A



**Figura 1.25:** Válvula de cierre.

#### 1.7.6.7. Válvulas de retención o antirretorno

Este tipo de válvulas permiten el paso del flujo en un sentido y lo impiden en el contrario. No se suelen emplear en los circuitos frigoríficos de los equipos de aire acondicionado, a no ser que el compresor se encuentre en un ambiente más frío que el condensador. Evita que en el momento de parada del equipo se produzca una circulación de flujo desde el condensador hacia el compresor y la consecuente condensación del refrigerante. Suelen instalarse sobre el recipiente de líquido y a la salida del compresor. En la figura 1.26 se puede observar una válvula de retención.

En el diseño de la instalación frigorífica de los secaderos de jamón se instalarán sobre el recipiente de líquido y a la salida del compresor. La elección de las válvulas antirretorno se realiza de acuerdo al diámetro de las tuberías. En la tabla 1.28 se muestran los modelos de válvulas antirretorno CASTEL empleadas de acuerdo al diámetro de las tuberías.



**Tabla 1.28:** Modelos de válvulas antirretorno empleadas de acuerdo a los diámetros de las tuberías.  
[8]

Diámetro tubería [in]	Modelo de válvula CASTEL
1 5/8"	3182/13
1 5/8"	3142/13
2 1/8"	3182/17
2 1/8"	3142/17



**Figura 1.26:** Válvula antirretorno o de retención.

#### 1.7.6.8. Válvulas de solenoide

Este tipo de válvulas son similares a las válvulas de cierre, pero el método de cierre es electromagnético de manera que se accionan automáticamente. Existen dos tipos de válvulas de solenoide: las NA, normalmente abiertas y las NC, normalmente cerradas. Las válvulas NA se caracterizan por estar abiertas cuando no reciben corriente eléctrica y las válvulas NC se caracterizan por estar cerradas cuando no reciben la corriente eléctrica. En la imagen 1.27 se muestra una válvula de solenoide.



**Figura 1.27:** Válvula de solenoide.

Este tipo de válvulas son las que determinarán que ciclo va a realizar el refrigerante en la instalación. En función del ciclo que vaya a realizar el refrigerante se abrirán o cerrarán las respectivas válvulas de solenoide. Los tres posibles ciclos son:

- Ciclo de refrigeración: el refrigerante circula por el evaporador, compresor, condensador exterior y válvula de expansión.
- Ciclo de calefacción: el refrigerante circula por el evaporador, compresor, condensador interior y válvula de expansión.
- Ciclo de desescarche: el refrigerante circula por el compresor y el evaporador.

La selección de las válvulas de solenoide empleadas en los secaderos de jamón se realiza de acuerdo al diámetro de la tubería donde se encuentran. En la tabla 1.29 se muestran las válvulas de solenoide CASTEL empleadas en los secaderos de jamón según el diámetro de las tuberías.

**Tabla 1.29:** Modelos de válvulas de solenoide CASTEL empleadas de acuerdo a los diámetros de las tuberías. [8]

Diámetro tubería [in]	Modelo de válvula CASTEL
1 1/8"	1098/9S
1 5/8"	1079/13S
2 1/8"	1079/17S

#### 1.7.6.9. Válvula de seguridad

Las válvulas de seguridad son elementos de seguridad que impiden que se eleve demasiado la presión en la instalación. Los recipientes de líquido deben poseer una válvula de seguridad de escape que en caso de que se sobrepase un determinado valor de presión el refrigerante es liberado al exterior. La válvula de seguridad empleada en el recipiente de líquido es el modelo CASTEL 3060/33C [8]. En la imagen 1.28 se muestra una válvula de seguridad de un recipiente de líquido.



**Figura 1.28:** Válvula de seguridad del recipiente de líquido.

### 1.7.6.10. Termostato

El termostato es un dispositivo que tiene el fin de regular o de mantener constante la temperatura de una sustancia. Los termostatos funcionan basándose en diferentes tipos de accionamiento. Los más importantes son:

- La dilatación y contracción del mercurio.
- La curvatura de un elemento bimetalico.
- La dilatación o contracción de una sustancia volátil actuando sobre un diafragma o fuelle.
- La variación de la tensión creada en un par termoelectrico.

Los mecanismos para utilizar los efectos de los cambios de temperatura son muy diversos. Estos mecanismos determinan el paro o arranque del dispositivo que controlan; abriendo o cerrando un circuito eléctrico. Los termostatos más utilizados son los bimetalicos y los de bulbo y capilar.

El termostato de bulbo y capilar consta de un depósito cargado de un gas apropiado conectado mediante un tubo capilar a una membrana o fuelle. Las diferencias de temperatura se traducen en diferencias de presión en el seno del gas y éstas pueden vencer la fuerza de la membrana o fuelle al que se ha conectado un interruptor que permite cerrar o abrir el circuito eléctrico.

En las instalaciones frigoríficas se pueden encontrar los siguientes termostatos:

- Termostato de trabajo, se encarga de controlar la temperatura interior de la cámara.
- Termostato de antihielo, controla la formación de escarcha en el evaporador.
- Termostato de aceite, protege el motor del compresor contra el arranque con el aceite frío.
- Termostato del motor, controla la temperatura del motor del compresor.

El termostato que se va a emplear para controlar el tiempo de desescarche así como la formación de escarcha en el evaporador es el termostato ALCO TS1-A4F. Para controlar el grado de recalentamiento útil a la salida del evaporador el termostato empleado es ALCO ECN-N60 tal como exige las especificaciones de las válvulas de expansión. En el interior de los secaderos se van a colocar termostatos ALCO TS1-B3E.[9]

### 1.7.6.11. Presostatos

El presostato es un elemento que se encarga de regular y controlar la presión. Funciona de forma muy similar al termostato de bulbo. La diferencia radica en que la presión que actúa en los termostatos es la presión de la sustancia contenida en el bulbo, mientras que en los presostatos la presión es la que queremos controlar.

En las instalaciones frigoríficas se pueden encontrar:

- Presostato de alta presión.

- Presostato de baja presión.
- Presostato combinado.
- Presostatos diferenciales de aceite.

### **Presostato de alta presión**

Este tipo de presostato es un elemento de seguridad. Se encarga de parar el compresor cuando la presión en el lado de alta presión supera un determinado valor, con ello se evitan posibles daños en la instalación. Las causas que pueden provocar un aumento de la presión en el lado de alta son un flujo insuficiente de aire en el condensador o el mal intercambio de calor en el condensador debido a suciedades.

### **Presostato de baja presión**

El presostato de baja presión o presostato de baja es un elemento de seguridad y de regulación. Cuando la presión a la entrada del compresor es inferior a un determinado valor, el compresor se para. Cuando el compresor se para, la presión aumenta lentamente provocando la puesta en marcha del compresor.

El presostato de baja también se puede emplear como elemento de regulación de la temperatura. Esto es debido a que la presión de aspiración depende de la temperatura de saturación del líquido refrigerante en el evaporador. Los cambios de temperatura a la entrada del compresor quedan reflejados por los cambios de presión y de esta forma se controla indirectamente la temperatura.

### **Presostato combinado de alta y baja presión**

Con el fin de simplificar los circuitos electrónicos, el presostato de alta y baja se agrupan en un solo dispositivo. El presostato combinado debe realizar las funciones de ambos componentes. Posee dos conexiones, una para el lado de alta presión y otra para el lado de baja.

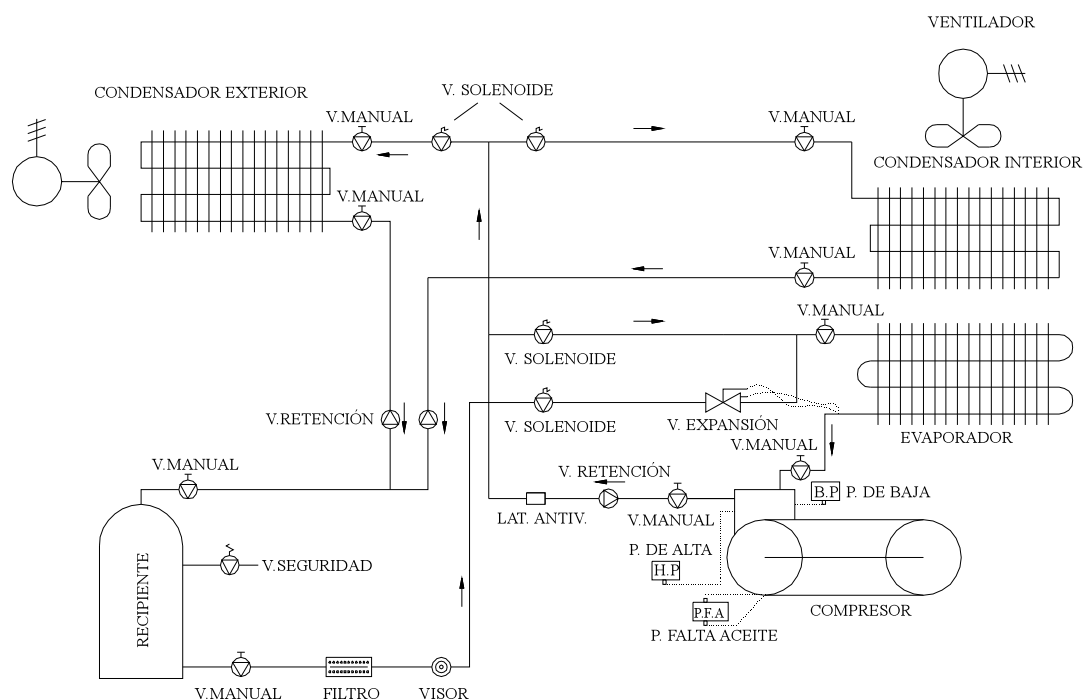
### **Presostato diferencial de aceite**

El presostato diferencial de aceite sirve para detener el compresor en caso de que la lubricación del mismo no se efectúa con una presión requerida mínima determinada por el fabricante. El valor del diferencial determina el caudal de aceite y por tanto la lubricación de las partes móviles del compresor. Si la lubricación no es suficiente debido a un fallo mecánico o la existencia de refrigerante en estado líquido, el presostato diferencial de aceite detiene al compresor.

En la instalación frigorífica de los secaderos de jamones se va a emplear un presostato combinado ya que así se simplifica la instalación. El presostato seleccionado es el modelo PS2L7A ALCO [9]. En el caso del presostato diferencial de aceite, éste es un opcional que te suministra la empresa fabricante del compresor. En los datos técnicos facilitados por Bitzer, aparece el modelo correspondiente para cada compresor. El modelo proporcionado por Bitzer para los compresores seleccionados para cada etapa es el MP54, DELTA P2 [7].

### 1.7.7. Configuración final de la instalación

Una vez descritos todos los elementos de la instalación de compresión simple de vapor la imagen 1.29 muestra su disposición. Los esquemas de cada secadero diseñado en este proyecto con los componentes específicos se encuentran en el *Documento 3: Planos* del presente proyecto.



**Figura 1.29:** Esquema de la instalación frigorífica de compresión simple de vapor con desescarche por gas caliente.

El número de piezas de jamón que pueden albergar los secaderos diseñados es elevado. Debido al elevado valor de la materia almacenada en cada secadero en ocasiones se colocan dos compresores idénticos en paralelo en cada instalación. Estos compresores funcionan de manera alternativa y en caso de avería en uno de ellos el otro seguirá funcionando. El flujo del refrigerante por un compresor u otro se controla mediante válvulas de solenoide accionadas por el sistema de control.

## 1.8. Funcionamiento de la instalación

En este capítulo se va a explicar el funcionamiento de la instalación frigorífica del ciclo de compresión simple de vapor según el recorrido que esté realizando el refrigerante en la instalación. A su vez se van a mostrar los diagramas  $\log(p)$ - $h$  para cada secadero según el diseño realizado en el capítulo anterior. Por último se va a estudiar una alternativa a la instalación convencional de los sistemas de refrigeración. Esta alternativa consiste en almacenar frío en forma de hielo en unas cápsulas de manera que se puede dimensionar la instalación para que no funcione en los periodos del día en que la luz es más cara.

### 1.8.1. Ciclos de la instalación

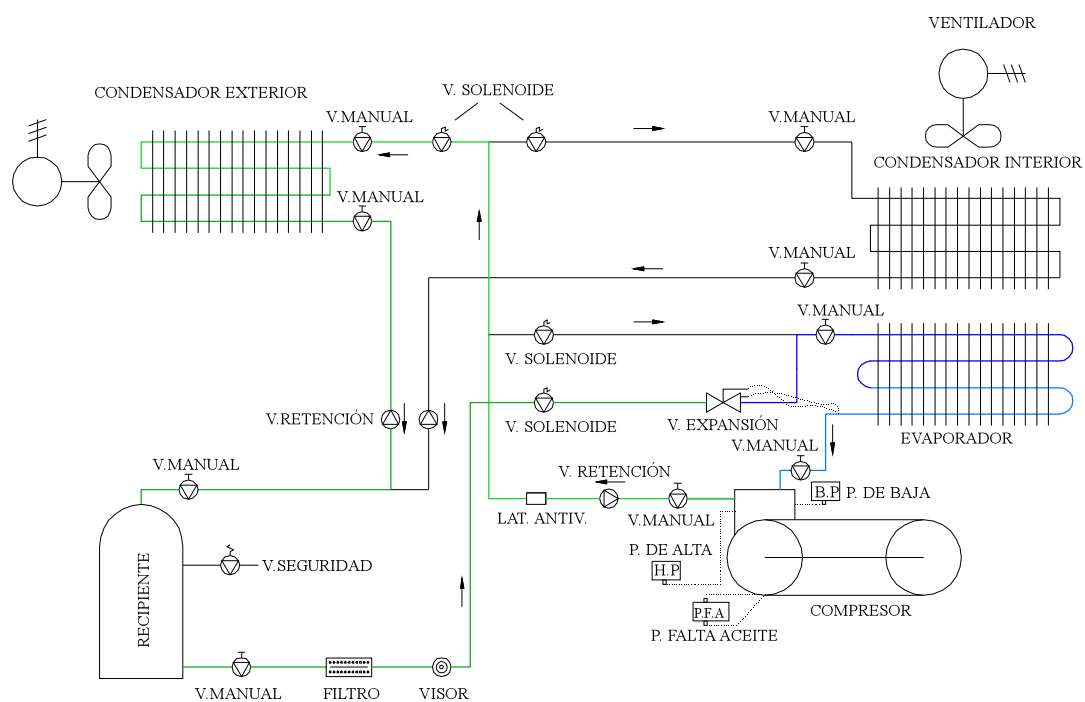
En la instalación frigorífica diseñada se observan tres posibles ciclos para el refrigerante. Como ya se ha mencionado anteriormente los tres posibles ciclos que puede realizar el refrigerante son:

- Refrigeración.
- Calefacción.
- Desescarche.

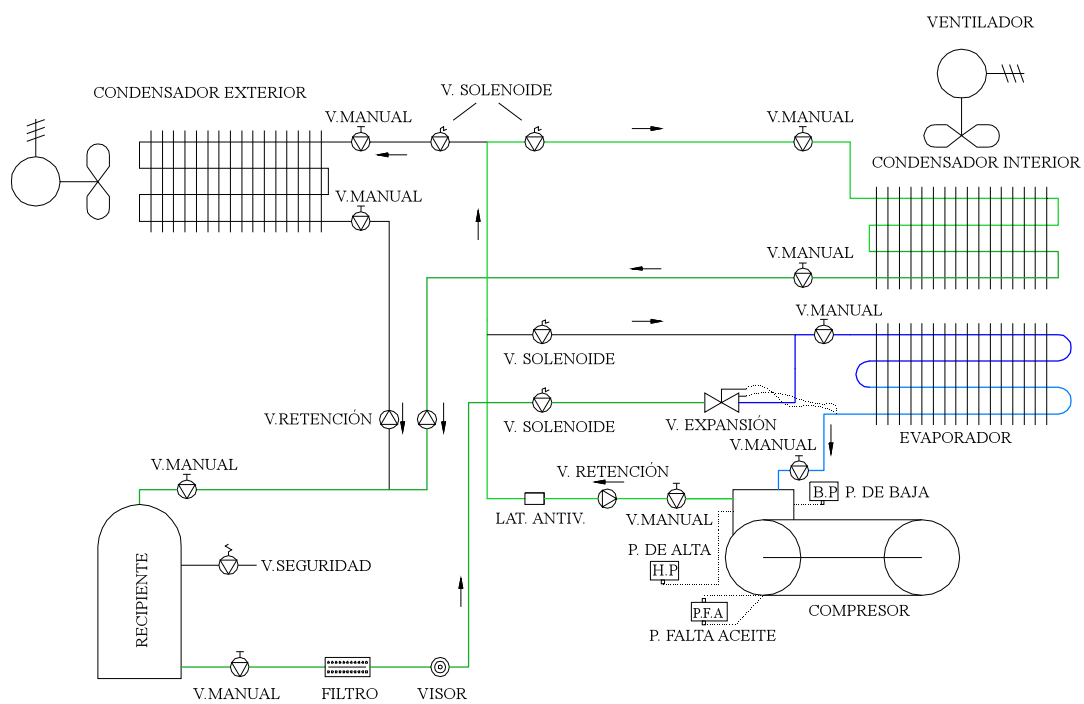
En función de las condiciones interiores de los secaderos y del nivel de escarcha en el evaporador el refrigerante realizará un ciclo u otro. El ciclo de refrigeración sirve para bajar la temperatura del secadero y a su vez elimina humedad del aire, que condensa en la superficie del evaporador en forma de escarcha o agua. De esta forma se consigue ir secando las piezas de jamón progresivamente. En este ciclo el refrigerante circula por el evaporador y condensador exterior tal como muestra la imagen 1.30.

En el ciclo de calefacción el refrigerante circula por el evaporador y el condensador interior o batería caliente. Este ciclo entra en funcionamiento cuando la temperatura de la cámara desciende de la consigna establecida y cuando la humedad relativa supera el valor máximo de humedad relativa establecido. En la imagen 1.31 se muestra el recorrido del refrigerante en el ciclo de calefacción.

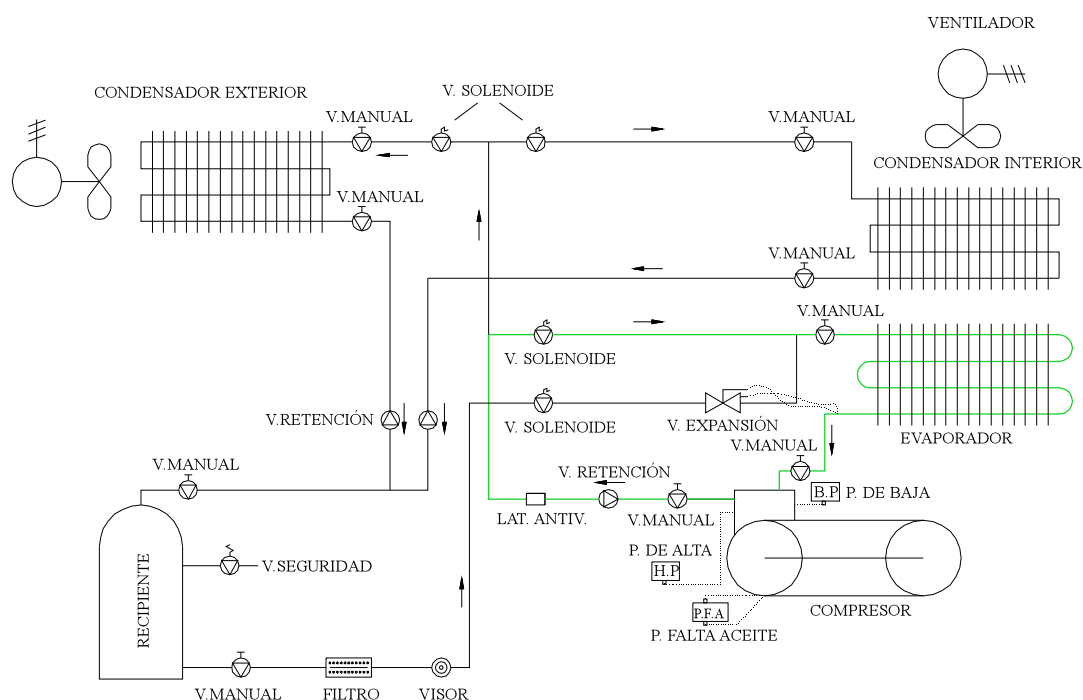
El ciclo de desescarche se pone en marcha en función de la temperatura en el evaporador o se programa cada cierto tiempo de funcionamiento de la instalación. El desescarche finalizará bajo la orden del termostato de fin de desescarche. En las instalaciones de los secaderos de secado y bodega  $T_o=4^{\circ}\text{C}$  por tanto no se produce hielo en su superficie y el desescarche no sería necesario, pero como medida preventiva se ha instalado el circuito de desescarche por gas caliente en ambas instalaciones. La imagen 1.32 representa el ciclo del refrigerante durante el desescarche.



**Figura 1.30:** Ciclo de refrigeración.



**Figura 1.31:** Ciclo de calefacción.



**Figura 1.32:** Ciclo de desescarche.

El control de la instalación se realiza de manera automática por una unidad de control central. Se trata de un sistema de control digital que permite controlar todas las instalaciones de manera sencilla y automática. Es el encargado de abrir y cerrar válvulas en función de las condiciones interiores de los secaderos y en función de los tiempos de desescarche. Dicho sistema es también el encargado de avisar en caso de avería.

Una vez descritos los posibles ciclos que pueden realizar las instalaciones diseñadas para los secaderos a continuación se muestran los diagramas  $\log(p)$ - $h$  de cada secadero.



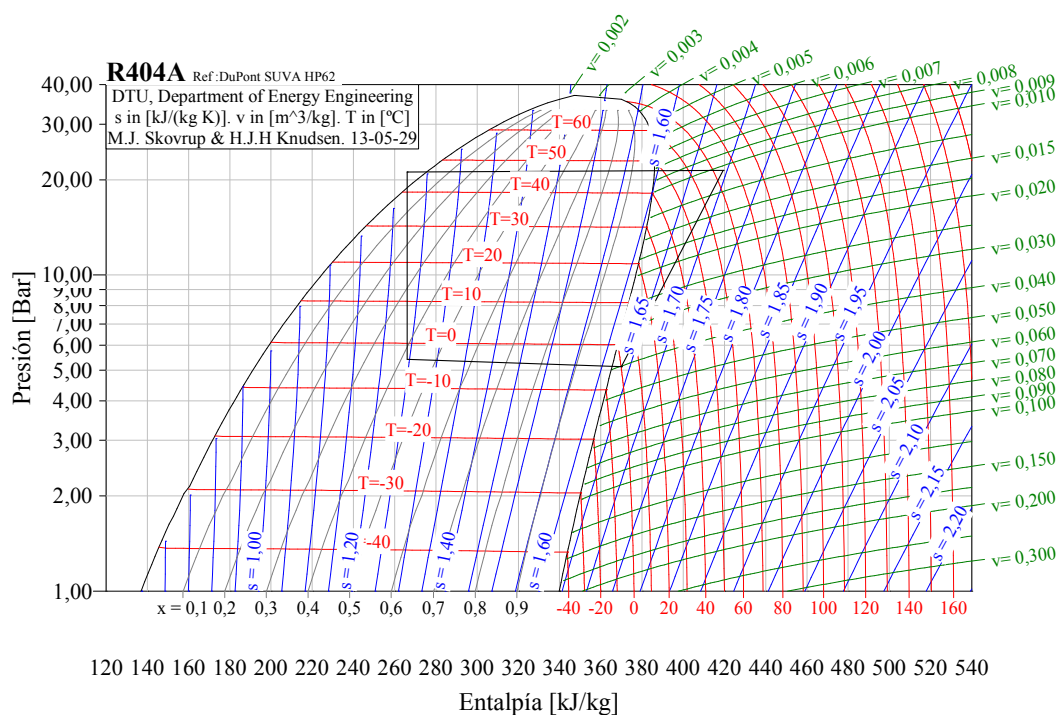


Figura 1.33: Diagrama log(p)-h del secadero Postsalado.

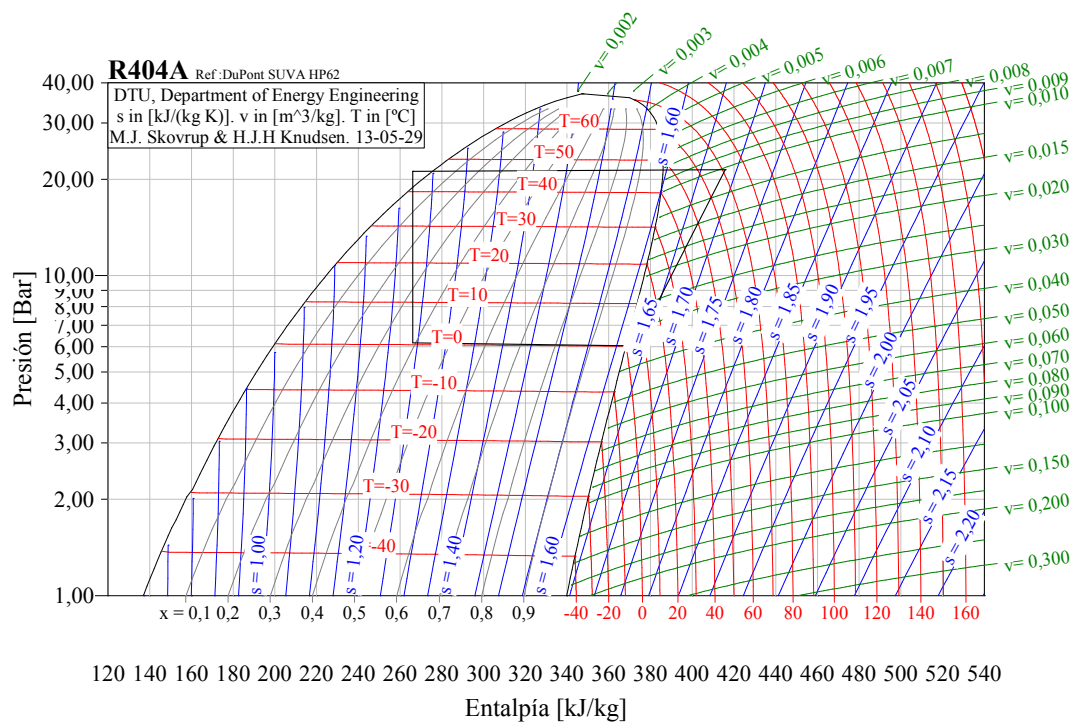
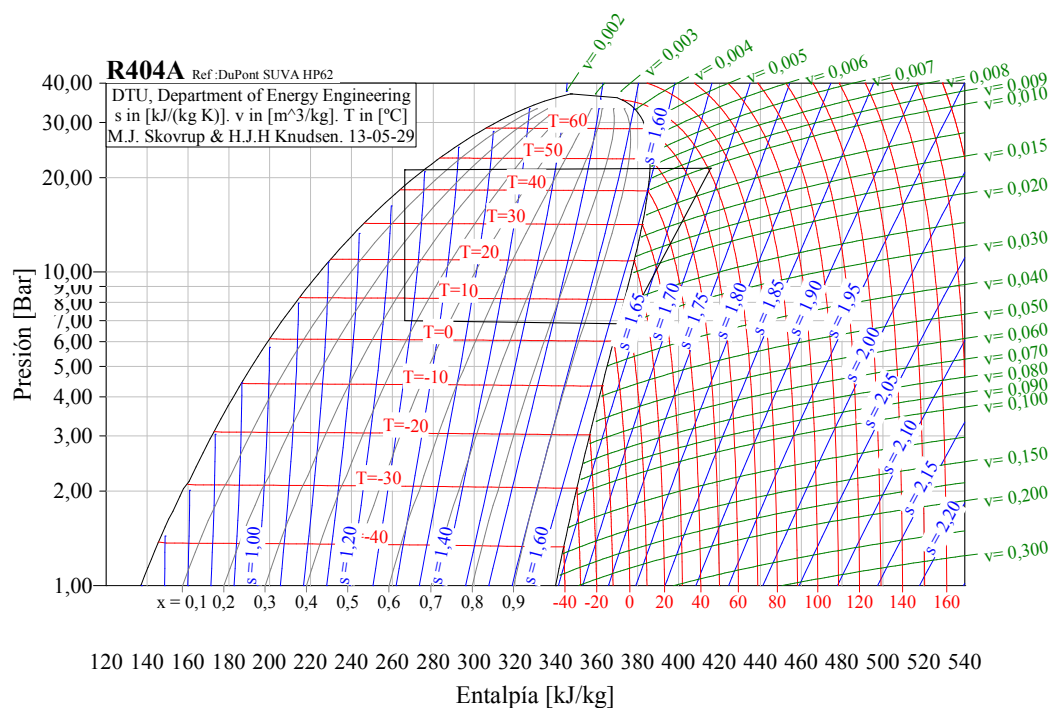
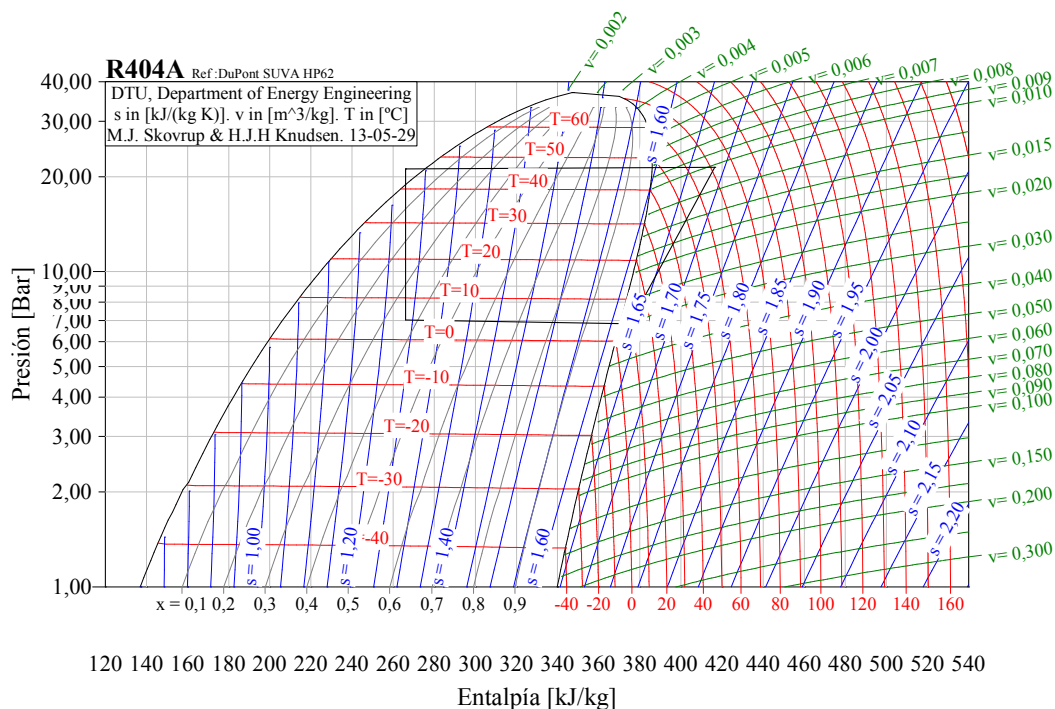


Figura 1.34: Diagrama log(p)-h del secadero Postsalado-Secado.



**Figura 1.35:** Diagrama log(p)-h del secadero Secado.



**Figura 1.36:** Diagrama log(p)-h del secadero Bodega.

### 1.8.2. Sistema acumulador de hielo estático

En este apartado se va a describir un sistema en el que se almacena energía frigorífica en forma de hielo. Este sistema es una alternativa al sistema convencional de compresión simple de vapor descrito a lo largo del proyecto.

Las bolas de hielo Ice Ball de Sedical acumulan energía en forma de hielo en su interior. Pertenecen al grupo de sistemas estáticos acumuladores de hielo denominados de transferencia exterior, también conocidos como hielo encapsulado.

Estas bolas se encuentran en el interior de un depósito lleno de agua con glicol. La circulación del agua con glicol a través del depósito se consigue mediante una bomba hidráulica. Las bolas de hielo actúan como intercambiadores de calor y acumuladores de energía. [17]

El glicol se emplea para disminuir la temperatura de congelación del agua. En la tabla 1.30 se puede observar el punto de congelación para diferentes disoluciones acuosas de glicol.

**Tabla 1.30:** Punto de congelación para diferentes disoluciones acuosas de glicol

Punto de congelación [°C]	Solución acuosa de etilenglicol [% en peso]
-6,6	16
-12,2	25
-17,7	33
-23,3	40
-28,8	45

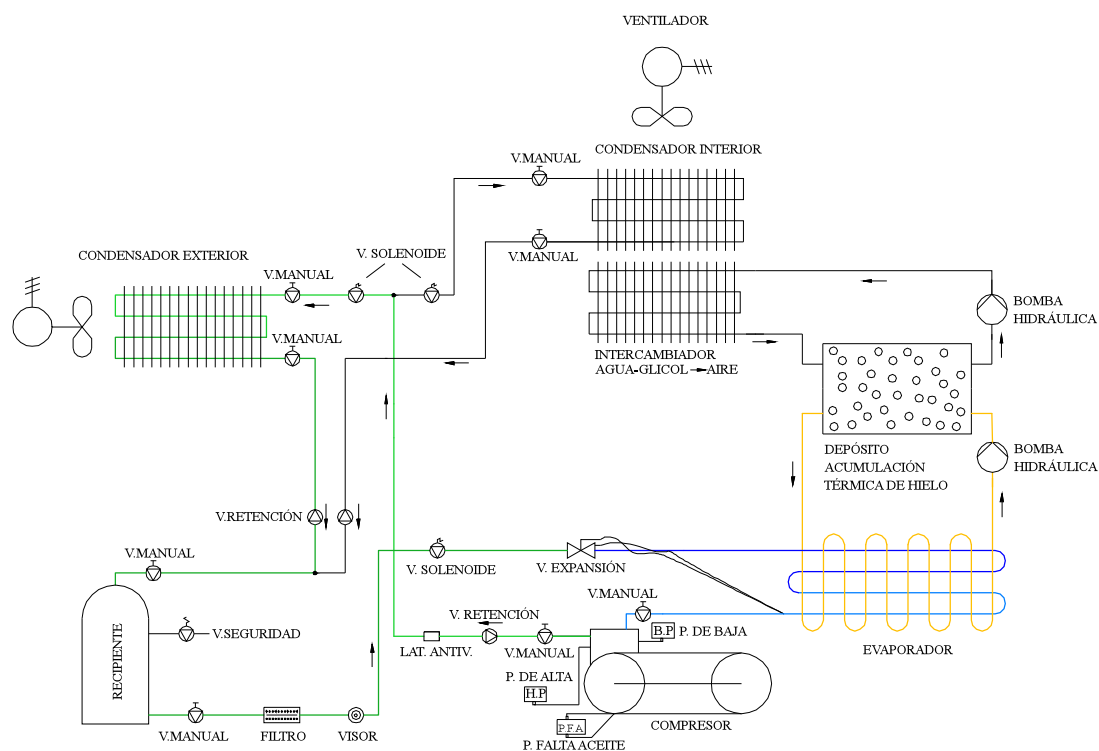
La temperatura del agua con glicol es la que determina el funcionamiento del sistema. Si ésta temperatura es menor que la temperatura de congelación del agente que se encuentra en el interior de las bolas, éste se congela y por tanto almacena energía frigorífica. Cuando la temperatura del agua con glicol es mayor que la temperatura de congelación de las bolas éstas se descongelan cediendo la energía frigorífica al agua con glicol. En este caso el circuito alimenta un intercambiador de calor de tubos con aletas. Por el exterior de este intercambiador de calor se hace circular el aire del secadero a refrigerar. En esta instalación la escarcha ya no se produce en el evaporador del sistema de compresión simple, sino que se produce en el exterior del intercambiador de calor descrito anteriormente. Como consecuencia es necesario un sistema de desescarche. El sistema de desescarche óptimo para esta situación es por resistencias eléctricas debido a la sencillez de su instalación. El desescarche tiene que ser controlado de manera que cuando la escarcha haya desaparecido del exterior del intercambiador se detenga el funcionamiento de las resistencias.

Las ventajas de este sistema son las siguientes:

- La potencia frigorífica de diseño se puede reducir significativamente.
- El consumo de energía eléctrica se puede distribuir a lo largo del día; evitando el periodo punta.

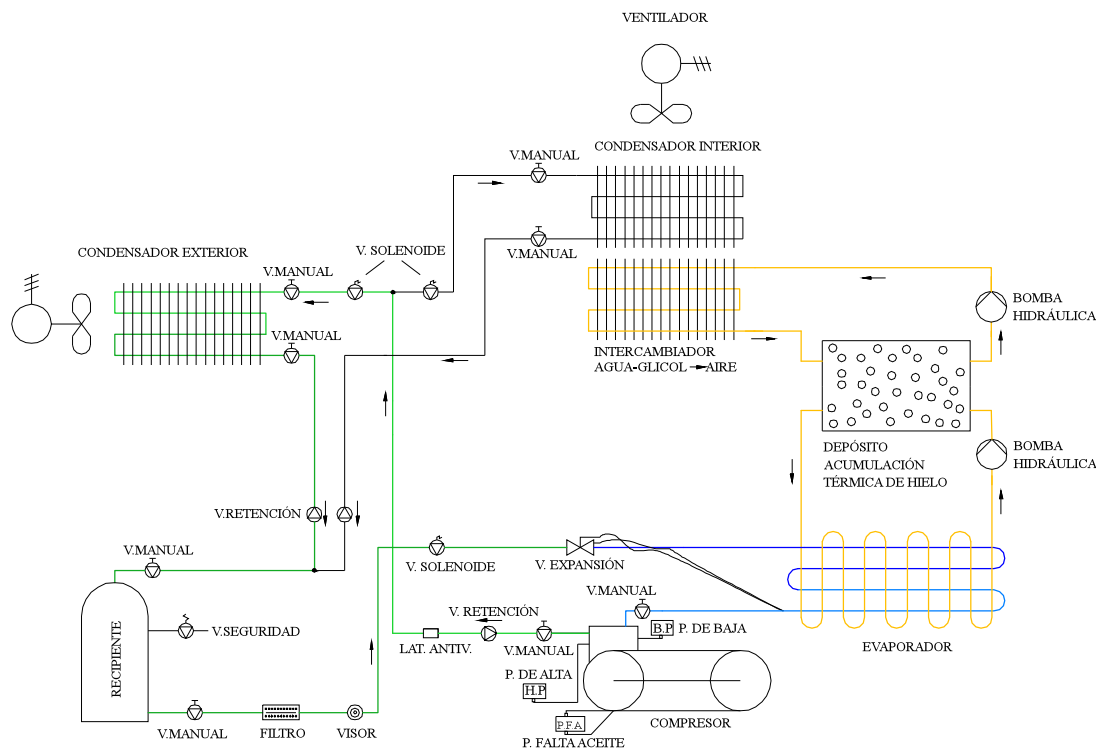
En la imagen 1.37 se puede observar un simple esquema de la nueva instalación. A su vez se observa el recorrido del agua con glicol en la etapa en la que se está almacenando energía en forma de hielo en las bolas. Como se observa el evaporador

del sistema de compresión simple debe ser sustituido por un evaporador de carcasa y tubos ya que por el circuito secundario circula el agua con glicol y no el aire a refrigerar del secadero.



**Figura 1.37:** Ciclo de acumulación de hielo estático.

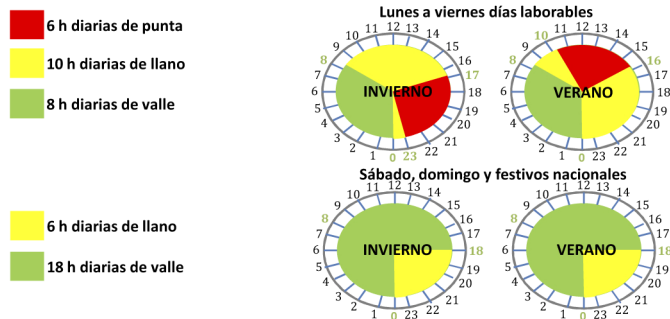
En la imagen 1.38 se observa el recorrido de la disolución acuosa de glicol cuando se pone en funcionamiento el ciclo de refrigeración del secadero y a su vez el ciclo de acumulación de hielo estático. El dimensionamiento del intercambiador de calor debe ser de acuerdo a las necesidades frigoríficas de cada secadero, cuyos valores se muestran en la tabla 1.13.



**Figura 1.38:** Ciclo de acumulación de hielo estático y de refrigeración del secadero.

De acuerdo a la nave industrial y a las potencias consumidas por los diferentes secaderos, el tipo de tarifa al que estaría suscrita la nave sería la 3.1A. Esta tarifa es un tipo de tarifa de alta tensión ( $V > 1\text{kV}$ ) en la que la discriminación diaria se hace de acuerdo a tres periodos horarios: horas punta, horas llano y horas valle. A su vez la potencia contratada debe ser menor o igual a  $450\text{kW}$ .

En la imagen 1.39 se puede observar como se distribuyen los periodos horarios a lo largo de los días laborables y festivos. A su vez como se puede observar, la distribución horaria de la tarifa varía en función de los meses del año. Se distinguen dos periodos: invierno y verano. El cambio de un periodo a otro se realiza en la misma fecha en la que se realiza el cambio de hora. [12]



**Figura 1.39:** Distribución de las tarifas de electricidad a lo largo del día y periodo del año. [12]

El precio del kWh en función de la discriminación horaria es la siguiente: [12]

- Horas punta: 0,043392€/kWh.
- Horas llano: 0,038608€/kWh.
- Horas valle: 0,023627€/kWh.

Para comparar el sistema de acumulación de hielo de sedical y el sistema convencional de compresión simple de vapor se va a analizar la diferencia económica del consumo eléctrico existente entre un sistema y el otro. A la hora de dimensionar la instalación para el sistema de acumulación de hielo se va a tomar como tiempo de funcionamiento de la instalación de compresión 18h, evitando de esta forma que el compresor funcione durante las horas punta. La tabla 1.31 muestra la potencia frigorífica, la potencia del condensador y la potencia consumida por el compresor para el sistema convencional de compresión simple de vapor y para el sistema alternativo de acumulación de hielo. Para realizar la comparación económica del consumo de luz lo que diferencia un sistema del otro es la potencia de los compresores, la potencia de los ventiladores, de los condensadores exteriores y la potencia de las bombas hidráulicas del sistema de sedical. La tabla 1.32 muestra las potencias consumidas por los compresores y ventiladores de los condensadores exteriores para cada sistema.

En el caso de los secaderos de secado y bodega, como se explicó anteriormente, se emplea la tecnología twin en la que una instalación se emplea para refrigerar dos secaderos. Para evitar que el compresor funcione durante las horas punta y conseguir que las instalaciones sean capaces de refrigerar adecuadamente ambos espacios, se dimensionan para 9h de funcionamiento.

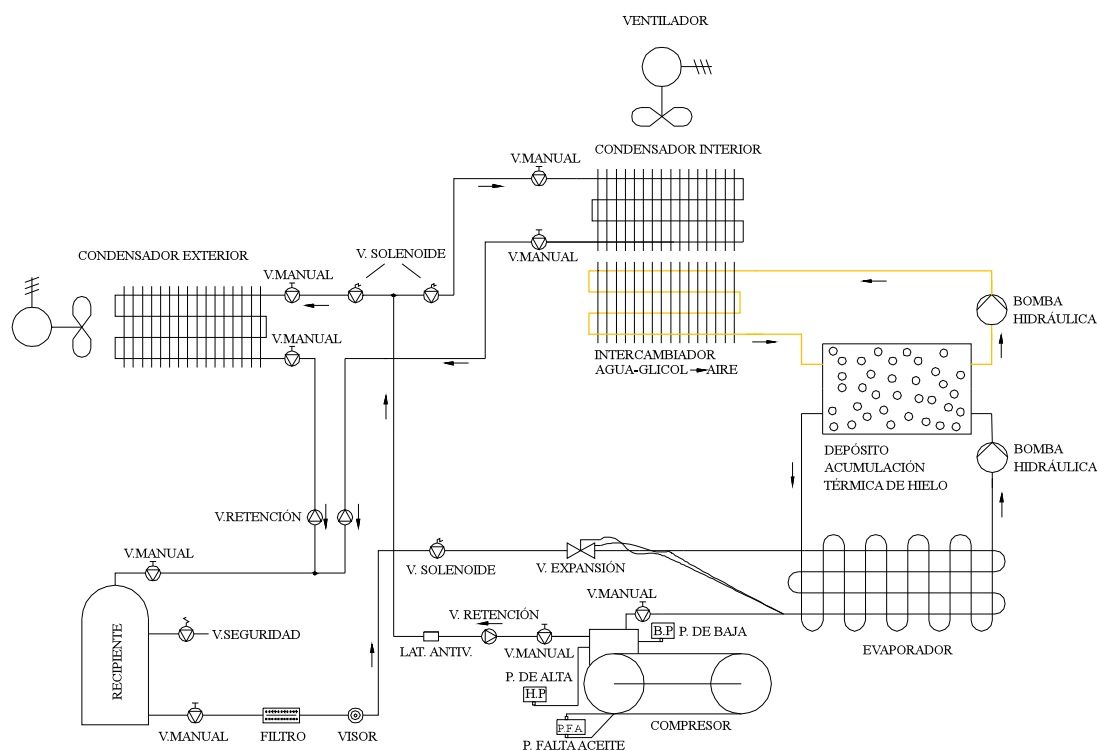
**Tabla 1.31:** Potencia frigorífica  $\dot{Q}_o$ , potencia del compresor  $P$  y calor de condensación  $\dot{Q}_c$  en cada secadero para el sistema convencional y el sistema de sedical.

<b>Sistema convencional</b>	Compresor	$\dot{Q}_o$ [KW]	$P$ [KW]	$\dot{Q}_c$ [KW]
Postsalado( $t=9h$ )	8FE-70Y-40P	123	57,9	180,9
Postsal.-secado( $t=8h$ )	8GE-60Y-40P	127,7	51,1	178,8
Secado( $t=6h$ )	8FE-70Y-40P	177,2	65,4	243
Bodega( $t=6h$ )	6FE-50Y-40P	129,4	42,9	172,3
<b>Sistema Sedical</b>	Compresor	$\dot{Q}_o$ [KW]	$P$ [KW]	$\dot{Q}_c$ [KW]
Postsalado( $t=18h$ )	8FE-35Y-40P	60,6	25,8	86,4
Postsal.-secado( $t=18h$ )	8HE-25Y-40P	54,6	19,29	73,9
Secado( $t=9h$ )	6GE-40Y-40P	106,6	34,6	141,2
Bodega( $t=9h$ )	4FE-35Y-40P	87,1	29	116,1

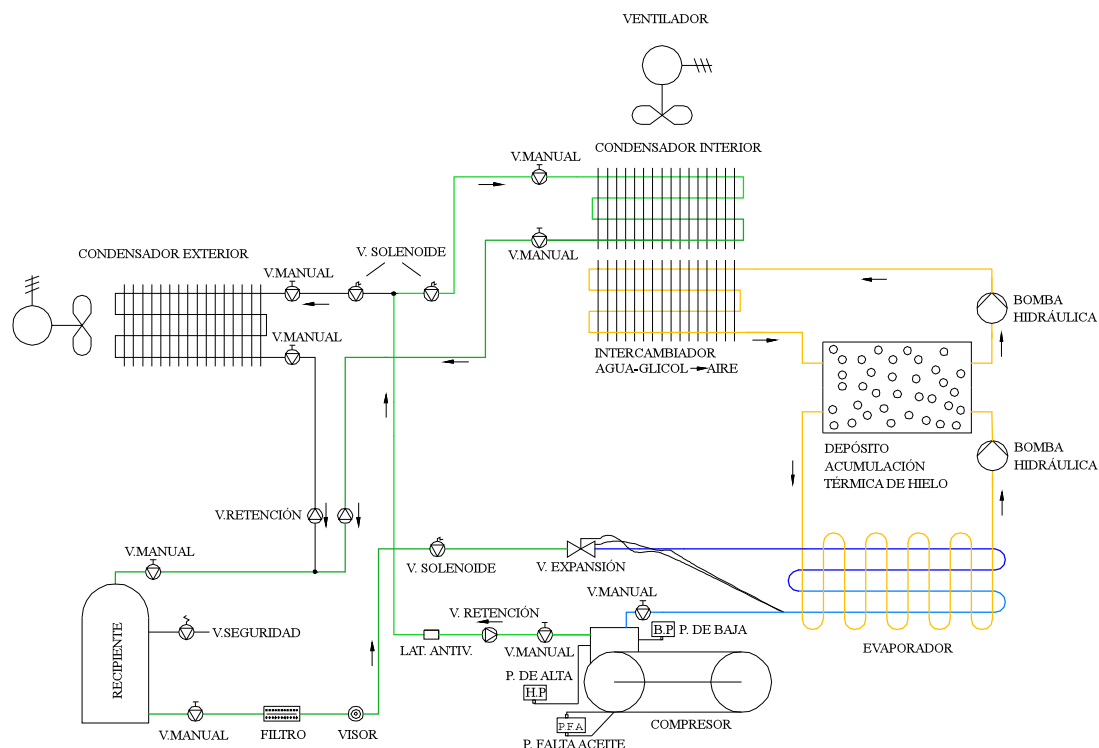
**Tabla 1.32:** Potencia de los ventiladores de los condensadores exteriores en el sistema convencional y en el sistema de sedical.

Sistema convencional	Condensador ext.	$P_{vent}$ [KW]
Postsalado( $t=9h$ )	CBS-226Y-V	1,2
Postsal.-secado( $t=8h$ )	CBS-226Y-V	1,2
Secado( $t=6h$ )	CBS-301Y-V	1,6
Bodega( $t=6h$ )	CBS-226Y-V	1,2
Sistema Sedical	Condensador ext.	$P_{vent}$ [KW]
Postsalado( $t=18h$ )	CBS-104Y-V	0,56
Postsal.-secado( $t=18h$ )	CBS-92Y-V	0,42
Secado( $t=9h$ )	CBS-146 $\Delta$ – V	1,48
Bodega( $t=9h$ )	CBS-146Y-V	0,8

Durante las horas punta sólo funcionará la bomba que hace fluir el agua con glicol desde el depósito acumulador de hielo hasta el intercambiador de calor aire → agua con glicol. En la imagen 1.40 se representa dicha situación. En el análisis económico realizado no se considera que el ciclo de calefacción se ponga en funcionamiento, en el caso que de que este ciclo se pusiera en marcha, en la imagen 1.41 se muestra el funcionamiento de la instalación.

**Figura 1.40:** Ciclo de refrigeración del secadero.



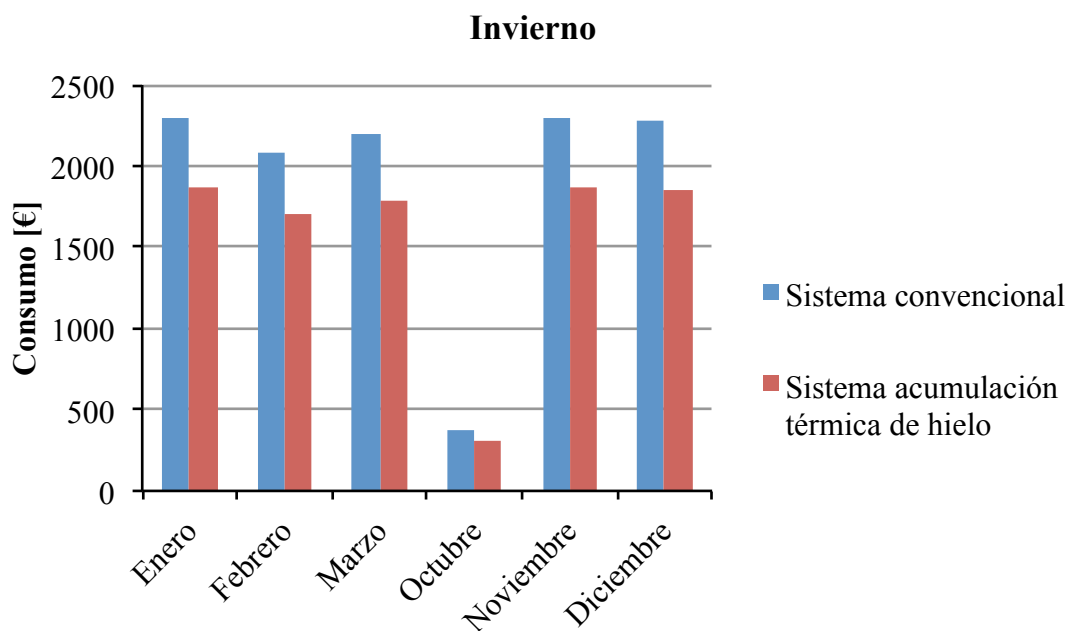


**Figura 1.41:** Ciclo de calefacción.

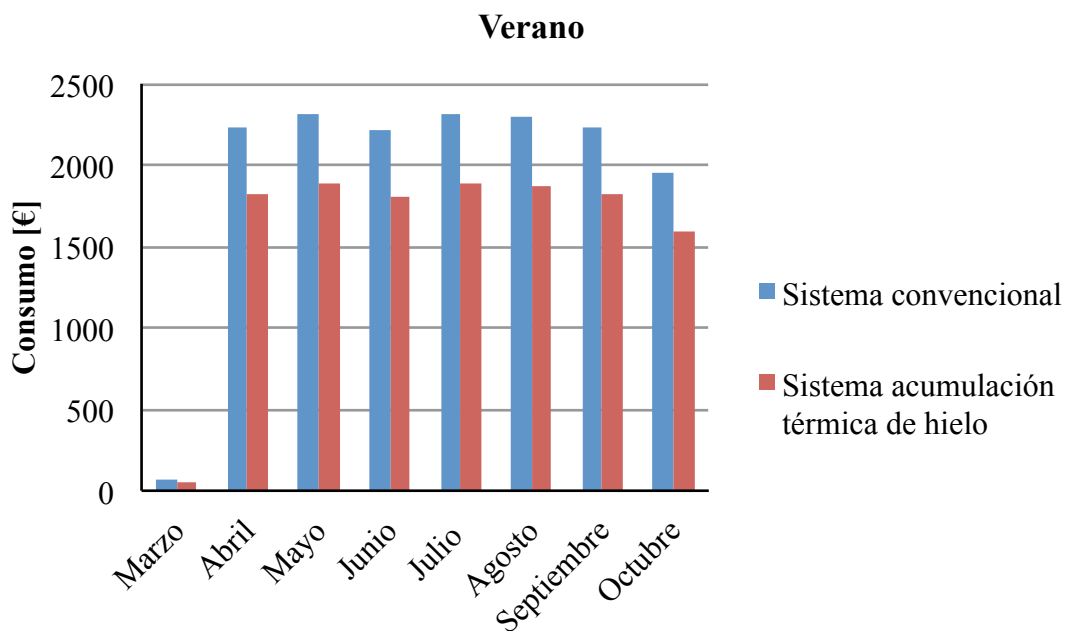
El análisis económico se va a realizar a lo largo del año 2013, de acuerdo al calendario laboral de Navarra. Los cambios de distribución horaria de invierno a verano y viceversa corresponden a los cambios oficiales de hora. La gráfica 1.42 muestra la diferencia económica obtenida en invierno entre el sistema convencional y el sistema acumulador de hielo estático. Por otro lado la gráfica 1.43 muestra dicha diferencia en los meses de verano. Los valores que aparecen en las gráficas no son los valores de la factura mensual ya que sólo se contemplan las potencias consumidas por el compresor, por los ventiladores del condensador exterior y por las bombas hidráulicas. A su vez los valores de consumo mensuales corresponden a la suma de los consumos de los secaderos diseñados en el proyecto. Haciendo un balance anual, con el sistema acumulador de hielo estático se ahorra  $\cong 5100\text{€}/\text{año}$ .

Se puede concluir que el sistema de acumulación de hielo estático conlleva un ahorro en la factura de electricidad. Una desventaja de este sistema es que la instalación se complica y son necesarios más elementos.





**Figura 1.42:** Diferencia en el consumo entre el sistema convencional y el sistema de acumulación térmica de hielo en invierno.



**Figura 1.43:** Diferencia en el consumo entre el sistema convencional y el sistema de acumulación térmica de hielo en verano.



## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN  
SECADERO DE JAMONES

Documento 2:

**CÁLCULOS**

Alumno: Víctor Sancho Rodrigo

Tutor: Miguel Ángel Pascual Buisan

Pamplona, Junio 2013



# Documento 2

## Cálculos

### Índice

<b>2.1. Cálculo de la carga térmica de refrigeración . . . . .</b>	<b>2</b>
2.1.1. Transferencia de calor de los productos . . . . .	2
2.1.2. Transferencia de calor a través de los cerramientos interiores y exteriores . . . . .	3
2.1.3. Transferencia de calor a través del suelo . . . . .	5
2.1.4. Transferencia de calor a través del techo . . . . .	5
2.1.5. Calor generado por las personas . . . . .	6
2.1.6. Calor generado por el alumbrado . . . . .	6
2.1.7. Transferencia de calor debido a las renovaciones de aire .	7
2.1.8. Balance energético . . . . .	8
<b>2.2. Selección del compresor . . . . .</b>	<b>10</b>
<b>2.3. Selección del condensador exterior . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>2.4. Diseño del evaporador y condensador interior . . . . .</b>	<b>20</b>
2.4.1. Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor del evaporador . . . . .	20
2.4.2. Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor del condensador interior . . . . .	22
2.4.3. Dimensionado del evaporador y condensador interior . . .	25
<b>2.5. Pérdidas de carga . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>2.6. Sistema acumulador de hielo estático . . . . .</b>	<b>30</b>

## 2.1. Cálculo de la carga térmica de refrigeración

### 2.1.1. Transferencia de calor de los productos

Ecuaciones:

$$\dot{Q}_{s,prod} = \dot{m}C_p\Delta T \quad (2.1)$$

$$\dot{Q}_{l,prod} = \dot{m}_{H_2O}h_{lv} \quad (2.2)$$

Valores constantes:

- $C_{p,jamón} = 2,53 kJ/kg$ .
- $h_{lv} = 2500 kJ/kg$ .

**Tabla 2.1:** Merma de las piezas de jamón en cada etapa.

Secadero	$m_i$ [kg]	$m_f$ [kg]	merma [%]
Salazón	13	12,48	4
Postsalado	12,48	10,73	14
Postsalado-Secado	10,73	9,77	9
Secado	9,77	9,18	6
Bodega	9,18	8,81	4

**Tabla 2.2:** Cálculo de  $\Delta T$  experimentado por los jamones al pasar de una etapa a la siguiente.

Secadero	$T_{etap,anter}$ [°C]	$T_i$ [°C]	$\Delta T$ [°C]
Postsalado	2	3	1
Postsalado-Secado	3	8,5	5,5
Secado	8,5	14	5,5
Bodega	14	16	2

**Tabla 2.3:** Transferencia de calor sensible de los jamones en el paso de una etapa a la siguiente. El tiempo en que las piezas de jamón alcanzan la temperatura final es  $t=6$  h.

Secadero	$m$ [kg ud.]	$\dot{m} = 1500 * m/t$ [kg/s]	$\Delta T$ [°C]	$\dot{Q}_{s,prod}$ [W]
Postsalado	12,48	0,867	1	2192,67
Postsalado-Secado	10,73	0,745	5,5	10371,31
Secado	9,77	0,678	5,5	9437,89
Bodega	9,18	0,638	2	3226,04

**Tabla 2.4:** Transferencia de calor latente de las piezas de jamón en cada etapa. El tiempo para el cálculo de flujo másico es una semana ya que cada semana se introduce una partida y se saca otra de los secaderos;  $t = 7$  días.

Secadero	$\dot{m} = 1500 * (m_i - m_f)/t$ [kg/s]	$\dot{Q}_{l,prod}$ [W]
Postsalado	$4,33 \times 10^{-3}$	10833,33
Postsalado-Secado	$2,40 \times 10^{-3}$	5989,28
Secado	$1,45 \times 10^{-3}$	3633,5
Bodega	$9,11 \times 10^{-4}$	2276,99

### 2.1.2. Transferencia de calor a través de los cerramientos interiores y exteriores

Ecuaciones:

$$\dot{Q}_{cerr} = \frac{A\Delta T}{R_T} = UA\Delta T \quad (2.3)$$

$$R_k = \frac{e}{k} \quad (2.4)$$

$$R_T = R_i + R_k + R_e \quad (2.5)$$

Valores constantes:

- Conductividad paneles poliuretano:  $k=0,023\text{W/mK}$

**Cálculo de la resistencia térmica total de los cerramientos interiores.**

$$e=150\text{mm} \rightarrow R_k = 0,15/0,023 = 6,52\text{m}^2\text{K/W}$$

$$R_i = 0,13\text{m}^2\text{K/W}$$

$$R_e = 0,13\text{m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = 0,13 + 6,52 + 0,13 = 6,78\text{m}^2\text{K/W}$$

**Cálculo de la resistencia térmica total de los cerramientos exteriores.**

$$e=200\text{mm} \rightarrow R_k = 0,20/0,023 = 8,69\text{m}^2\text{K/W}$$

$$R_i = 0,13\text{m}^2\text{K/W}$$

$$R_e = 0,04\text{m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = 0,13 + 8,69 + 0,04 = 8,86\text{m}^2\text{K/W}$$

La numeración empleada en las paredes, cerramientos corresponden con la numeración del plano 3.4 del documento *Planos* del presente proyecto.

**Tabla 2.5:** Flujo de calor a través de los cerramientos de los secaderos.

Pared	$A [m^2]$	$R_T [m^2K/W]$	$T_1 [^{\circ}C]$	$T_2 [^{\circ}C]$	$\Delta T [^{\circ}C]$	$\dot{Q}_{cerr} [W]$
1	59	6,78	3	2	1	8,7
2	92,25	8,87	32	3	29	301,75
3	92,25	6,78	15	3	12	163,23
4	59	6,78	8,5	3	5,5	47,85
5	117,875	8,86	32	8,5	23,5	312,45
6	117,875	6,78	15	8,5	6,5	112,98
7	59	8,86	32	8,5	23,5	156,39
8	100,5	8,87	32	14	18	204,05
9	92,875	6,78	15	14	1	13,7
10	92,875	8,87	32	14	18	188,56
11	100,5	6,78	14	14	0	0
12	92,25	6,78	15	14	1	13,6
13	92,25	8,87	32	14	18	187,3
14	100,5	6,78	14	16	2	29,64
15	79,75	6,78	15	16	1	11,76
16	79,75	8,87	32	16	16	143,93
17	100,5	6,78	16	16	0	0
18	79,75	6,78	15	16	1	11,76
19	79,75	8,87	32	16	16	143,93
20	59,75	6,78	15	16	1	8,81
21	40	6,78	4	16	12	70,77

### 2.1.3. Transferencia de calor a través del suelo

Ecuaciones:

$$\dot{Q} = \frac{A\Delta T}{R_T} = U A \Delta T \quad (2.6)$$

$$B = \frac{A}{0,5P} \quad (2.7)$$

**Tabla 2.6:** Parámetros empleados para el cálculo de  $U_{suel}$

Secadero	$P$ [m]	$A$ [m <sup>2</sup> ]	$B$	$U$ [W/m <sup>2</sup> K]
Postsalado	60,5	217,71	7,2	0,461
Postsalado-Secado	70,75	278,19	7,86	0,443
Secado	77,1	370,85	9,62	0,383
Bodega	72,1	320,6	8,89	0,405

**Tabla 2.7:** Transferencia de calor a través del suelo en los diferentes secaderos, considerando  $T_{terreno}=22$  °C

Secadero	$T_i$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$U$ [W/m <sup>2</sup> K]	$\dot{Q}_{suel}$ [W]
Postsalado	3	19	0,461	1907,91
Postsalado-Secado	8,5	13,5	0,443	1663,68
Secado	14	8	0,383	1135,08
Bodega	16	6	0,405	778,66

### 2.1.4. Transferencia de calor a través del techo

Ecuaciones:

$$\dot{Q} = \frac{A\Delta T}{R_T} = U A \Delta T \quad (2.8)$$

$$R_k = \frac{e}{k} \quad (2.9)$$

$$R_T = R_i + R_k + R_e \quad (2.10)$$

#### Cálculo de la resistencia térmica total del techo.

Panel de poliuretano,  $e=15\text{cm}$   $k=0,023\text{W/mK} \rightarrow R_{k,1} = 6,52\text{m}^2\text{K/W}$

Bobedilla de hormigón convencional,  $e=30\text{cm}$   $k=1,58\text{W/mK} \rightarrow R_{k,2} = 0,19\text{m}^2\text{K/W}$

Hormigón armado,  $e=10\text{cm}$   $k=2,3\text{W/mK} \rightarrow R_{k,3} = 0,04\text{m}^2\text{K/W}$

$R_i = 0,17\text{m}^2\text{K/W}$

$R_e = 0,17\text{m}^2\text{K/W}$

$R_T = 0,17 + 6,52 + 0,19 + 0,04 + 0,17 = 7,09\text{m}^2\text{K/W}$



**Tabla 2.8:** Transferencia de calor a través del techo. Se considera que en el piso superior  $T = T_{ext}=32^{\circ}C$ .

Secadero	$A [m^2]$	$T_i [^{\circ}C]$	$\Delta T [^{\circ}C]$	$\dot{Q}_{tech} [W]$
Postsalado	217,71	3	29	889,85
Postsalado-Secado	278,19	8,5	23,5	921,39
Secado	370,85	14	18	940,82
Bodega	320,6	16	16	722,97

### 2.1.5. Calor generado por las personas

Ecuaciones:

$$\dot{Q}_{s,p} = C_S N \quad (2.11)$$

$$\dot{Q}_{l,p} = C_L N \quad (2.12)$$

**Tabla 2.9:** Calor generado por las personas en cada secadero.[2]

Secadero	$N$	$C_S + C_L [Kcal/h]$	$\dot{Q}_{s,p} + \dot{Q}_{l,p} [W]$
Postsalado	1	250	290,7
Postsalado-Secado	1	250	290,7
Secado	1	250	290,7
Bodega	2	250	581,4

### 2.1.6. Calor generado por el alumbrado

Ecuaciones:

$$\dot{Q}_{al} = 1,25 P n \quad (2.13)$$

**Tabla 2.10:** Calor generado por el alumbrado en cada sala.

Secadero	$n$	$P [W]$	$\dot{Q}_{al} [W]$
Postsalado	8	116	1160
Postsalado-Secado	10	116	1450
Secado	12	116	1740
Bodega	10	116	1450

### 2.1.7. Transferencia de calor debido a las renovaciones de aire

Ecuaciones:

$$\dot{Q}_{s,renov} = \dot{V} \rho_{aire} C_{p,aire} \Delta T \quad (2.14)$$

$$\dot{Q}_{l,renov} = \dot{V} \rho_{aire} h_{lv} \Delta w \quad (2.15)$$

Valores constantes:

- $\rho_{aire} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ .
- $C_{p,aire} = 1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ .
- $h_{lv} = 2500 \text{ kJ/kg}$ .
- 1 renovación de aire/hora.

**Tabla 2.11:** Transferencia de calor sensible debido a la renovación de aire en cada secadero.

Secadero	$V \text{ [m}^3\text{]}$	$\Delta T [^\circ\text{C}]$	$\dot{Q}_{s,renov} \text{ [W]}$
Postsalado	1088,55	29	10522,65
Postsalado-Secado	1390,93	23,5	10895,58
Secado	1854,23	18	11125,35
Bodega	1602,93	16	8549,2

**Tabla 2.12:** Transferencia de calor latente debido a la renovación de aire en cada secadero.

Secadero	$V \text{ [m}^3\text{]}$	$w_i \text{ [kg/kg]}$	$w_e \text{ [kg/kg]}$	$\dot{Q}_{l,renov} \text{ [KW]}$
Postsalado	1088,5	0,003981	0,01527	10240,53
Postsalado-Secado	1390,93	0,005154	0,01527	11725,50
Secado	1854,23	0,006948	0,01527	12859,05
Bodega	1602,93	0,007344	0,01527	10587,65

## 2.1.8. Balance energético

Tabla 2.13: Balance energético secadero Postsalado.

Cargas térmicas	$\dot{Q}$ [W]
$\dot{Q}_{cerr}$	301,75
	47,85
	163,23
	-8,7
$\dot{Q}_{tech}$	889,85
$\dot{Q}_{suel}$	1907,91
$\dot{Q}_{al}$	1160
$\dot{Q}_p$	290,7
$\dot{Q}_{s,renov}$	10522,65
$\dot{Q}_{l,renov}$	10240,53
$\dot{Q}_{l,prod}$	10833,33
Balance $\dot{Q}$	36349,1
$\dot{Q}_{vent}$	3634,91
$\dot{Q}_{tot}$	39984,01
$C.S.$	1,1
$t_{func}$	9h
$Q_{o,dis}$	117286,43

Tabla 2.14: Balance energético secadero Postsalado-Secado.

Cargas térmicas	$\dot{Q}$ [W]
$\dot{Q}_{cerr}$	312,45
	156,39
	112,98
	-47,85
$\dot{Q}_{tech}$	921,39
$\dot{Q}_{suel}$	1663,68
$\dot{Q}_{al}$	1450
$\dot{Q}_p$	290,7
$\dot{Q}_{s,renov}$	10895,58
$\dot{Q}_{l,renov}$	11725,5
$\dot{Q}_{l,prod}$	5989,28
Balance $\dot{Q}$	33470,1
$\dot{Q}_{vent}$	3347,01
$\dot{Q}_{tot}$	36817,11
$C.S.$	1,1
$t_{func}$	8h
$Q_{o,dis}$	121496,46

Tabla 2.15: Balance energético secadero **Secado**.

Cargas térmicas	$\dot{Q}$ [W]
$\dot{Q}_{cerr}$	13,7
	0
	204,04
	188,56
$\dot{Q}_{tech}$	940,82
$\dot{Q}_{suel}$	1135,08
$\dot{Q}_{al}$	1740
$\dot{Q}_p$	290,7
$\dot{Q}_{s,renov}$	11125,35
$\dot{Q}_{l,renov}$	12859,05
$\dot{Q}_{l,prod}$	3633,5
Balance $\dot{Q}$	32130,8
$\dot{Q}_{vent}$	3213,08
$\dot{Q}_{tot}$	35343,88
<i>c.s.</i>	1,1
$t_{func}$	6h
$\dot{Q}_{o,dis}$	155513,07

Tabla 2.16: Balance energético secadero **Bodega**.

Cargas térmicas	$\dot{Q}$ [W]
$\dot{Q}_{cerr}$	0
	-11,76
	143,93
	-79,59
$\dot{Q}_{tech}$	722,97
$\dot{Q}_{suel}$	778,66
$\dot{Q}_{al}$	1450
$\dot{Q}_p$	581,4
$\dot{Q}_{s,renov}$	8549,2
$\dot{Q}_{l,renov}$	10587,65
$\dot{Q}_{l,prod}$	2276,99
Balance $\dot{Q}$	24999,45
$\dot{Q}_{vent}$	2499,95
$\dot{Q}_{tot}$	27499,40
<i>c.s.</i>	1,1
$t_{func}$	6h
$\dot{Q}_{o,dis}$	120997,34

## 2.2. Selección del compresor

En las siguientes tablas se muestran los datos empleados para la selección de los compresores así como las características técnicas de los mismos. La selección de los compresores se realiza mediante el software que Bitzer dispone para dicha finalidad.

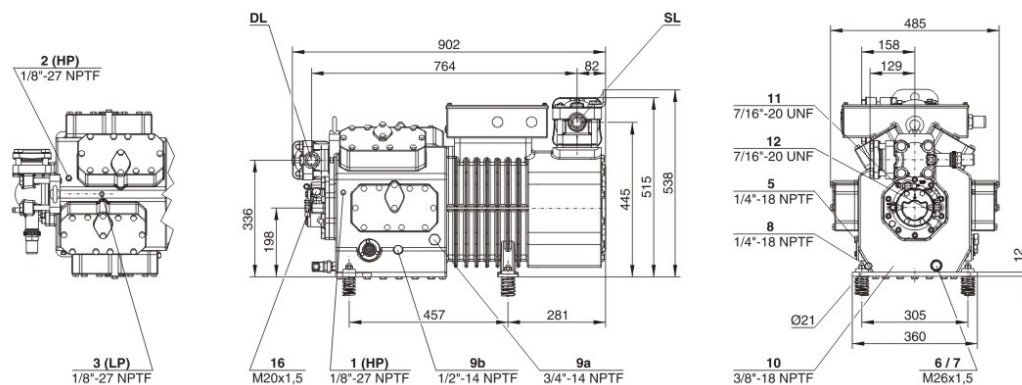
### Postsalado

**Tabla 2.17:** Valores de entrada. Secadero: Postsalado.

Modo	Refrigeración y aire acondicionado
Refrigerante	R-404A
Temperatura de evaporación $T_o$	-5°C
Temperatura de condensación $T_c$	47°C
Grado de recalentamiento	5°C
Grado de subenfriamiento	5°C
Alimentación eléctrica	400V-3-50Hz

**Tabla 2.18:** Resultado. Secadero: Postsalado.

Modelo	8FE-70Y-40P
Potencia frigorífica	123kW
Potencia absorbida	57,9kW
Corriente	106,7A
Gama de tensiones	380-420V
Capacidad del condensador	180,9kW
COP	2,12
Caudal másico	4226kg/h
Temperatura gas de descarga	72,7°C



**Figura 2.1:** Dimensiones y conexiones compresor 8FE-70Y-40P.

Leyenda:

- 1 Presostato de alta presión (HP)
- 2 Protección temperatura de descarga (HP)
- 3 Presostato de baja presión (BP)
- 4 Sistema CIC:inyector (BP)
- 4b Sensor CIC
- 5 tapón llenado de aceite
- 6 Tapón vaciado de aceite
- 7 Filtro de aceite (tapón magnético)
- 8 Retorno de aceite (separador de aceite)
- 9 Igualación aceite y gas (funcionamiento en paralelo)
- 9a Igualación gas (funcionamiento en paralelo)
- 9b Igualación aceite (funcionamiento en paralelo)
- 10 Calefactor de cárter
- 11 Presión aceite +
- 12 Presión aceite -
- 13 Conexión agua enfriada
- 16 Conexión por interruptor para el diferencial de presión de aceite "Delta P"

**Tabla 2.19:** Datos técnicos compresor 8FE-70Y-40P

Información técnica	
Volumen desplazado (1450rpm a 50Hz)	$221m^3/h$
Volumen desplazado (1750rpm a 60Hz)	$266,7m^3/h$
Nº de cilindros x diámetro x carrera	8x82mmx60mm
Peso	374kg
Presión máxima	19/32bar
Conexión línea de aspiración	76mm - 3 1/8"
Conexión línea de descarga	54mm - 2 1/8"
Tipo de aceite	$T_c < 70^\circ C$ :BSE32
Información del motor	
Tensión del motor	380-420V PW-3-50Hz
Intensidad máxima en funcionamiento	139A
Relación de bobinado	60/40
Intensidad en arranque (rotor bloqueado)	401A Y/590A $\Delta$

**Postsalado-Secado****Tabla 2.20:** Valores de entrada. Secadero: Postsalado-Secado.

Modo	Refrigeración y aire acondicionado
Refrigerante	R-404A
Temperatura de evaporación $T_o$	0°C
Temperatura de condensación $T_c$	47°C
Grado de recalentamiento	5°C
Grado de subenfriamiento	5°C
Alimentación eléctrica	400V-3-50Hz

**Tabla 2.21:** Resultado. Secadero: Postsalado-Secado.

Modelo	8GE-60Y-40P
Potencia frigorífica	127,7kW
Potencia absorbida	51,1kW
Corriente	95,2A
Gama de tensiones	380-420V
Capacidad del condensador	178,8kW
COP	2,50
Caudal másico	4281kg/h
Temperatura gas de descarga	69,8°C

**Tabla 2.22:** Datos técnicos compresor 8GE-60Y-40P

Información técnica	
Volumen desplazado (1450rpm a 50Hz)	185m <sup>3</sup> /h
Volumen desplazado (1750rpm a 60Hz)	222m <sup>3</sup> /h
Nº de cilindros x diámetro x carrera	8x75mmx60mm
Peso	350kg
Presión máxima	19/32bar
Conexión línea de aspiración	76mm - 3 1/8"
Conexión línea de descarga	42mm - 1 5/8"
Tipo de aceite	$T_c < 70^\circ\text{C}$ :BSE32
Información del motor	
Tensión del motor	380-420V PW-3-50Hz
Intensidad máxima en funcionamiento	113A
Relación de bobinado	60/40
Intensidad en arranque (rotor bloqueado)	349A Y/513A $\Delta$

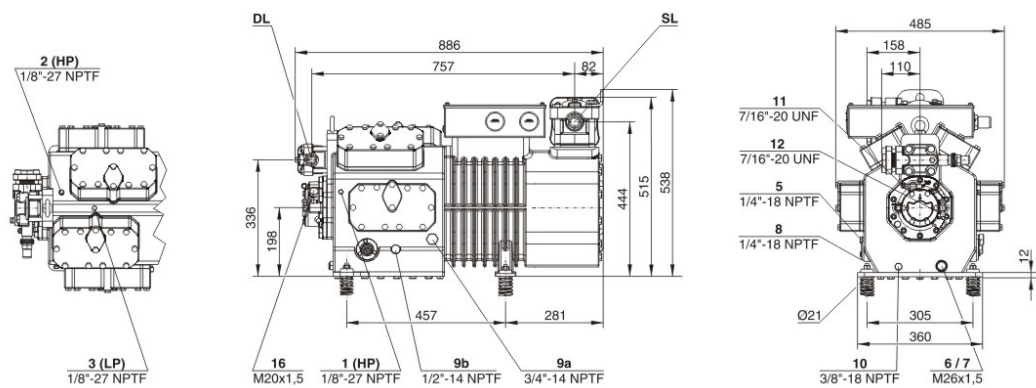


Figura 2.2: Dimensiones y conexiones compresor 8GE-60Y-40P.

La leyenda de las dimensiones y conexiones del compresor 8GE-60Y-40P es la misma que las descrita para el compresor del secadero de postsalado.

Secado

Tabla 2.23: Valores de entrada. Secadero: Secado.

Modo	Refrigeración y aire acondicionado
Refrigerante	R-404A
Temperatura de evaporación $T_o$	4°C
Temperatura de condensación $T_c$	47°C
Grado de recalentamiento	5°C
Grado de subenfriamiento	5°C
Alimentación eléctrica	400V-3-50Hz

Tabla 2.24: Resultado. Secadero: Secado.

Modelo	8FE-70Y-40P
Potencia frigorífica	177,2kW
Potencia absorbida	65,4kW
Corriente	118,1A
Gama de tensiones	380-420V
Capacidad del condensador	242,6kW
COP	2,71
Caudal másico	5824kg/h
Temperatura gas de descarga	69,4°C

El compresor obtenido es el mismo que para el secadero de Postsalado por lo que los datos técnicos y dimensiones son los mismos.



**Bodega****Tabla 2.25:** Valores de entrada. Secadero: Bodega.

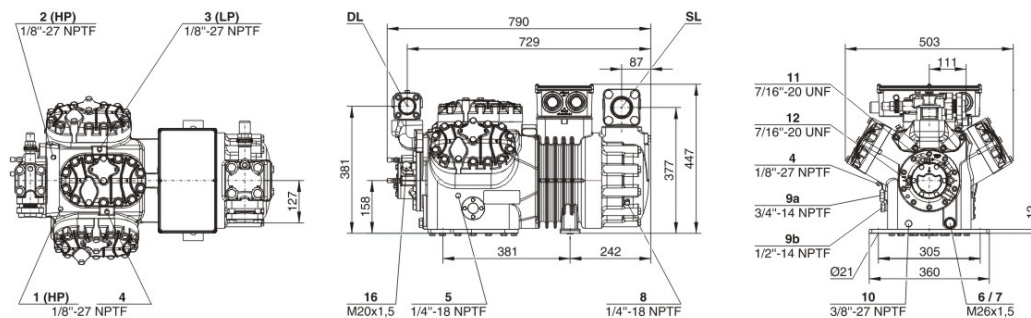
Modo	Refrigeración y aire acondicionado
Refrigerante	R-404A
Temperatura de evaporación $T_o$	4°C
Temperatura de condensación $T_c$	47°C
Grado de recalentamiento	5°C
Grado de subenfriamiento	5°C
Alimentación eléctrica	400V-3-50Hz

**Tabla 2.26:** Resultado. Secadero: Bodega.

Modelo	6FE-50Y-40S
Potencia frigorífica	129,4kW
Potencia absorbida	42,9kW
Corriente	141,6A
Gama de tensiones	220-230V
Capacidad del condensador	172,3kW
COP	3,02
Caudal másico	4252kg/h
Temperatura gas de descarga	66,2°C

**Tabla 2.27:** Datos técnicos compresor 6FE-50Y-40S

Información técnica	
Volumen desplazado (1450rpm a 50Hz)	151,6m <sup>3</sup> /h
Volumen desplazado (1750rpm a 60Hz)	183,07m <sup>3</sup> /h
Nº de cilindros x diámetro x carrera	6x82mmx55mm
Peso	241kg
Presión máxima	19/32bar
Conexión línea de aspiración	54mm - 2 1/8"
Conexión línea de descarga	42mm - 1 5/8"
Tipo de aceite	$T_c < 70^\circ\text{C}$ :BSE32
Información del motor	
Tensión del motor	220-230V D-3-50Hz
Intensidad máxima en funcionamiento	167,3A
Intensidad en arranque (rotor bloqueado)	703A



**Figura 2.3:** Dimensiones y conexiones compresor 6FE-50Y-40S.

La leyenda de las dimensiones y conexiones del compresor 8GE-60Y-40P es la misma que las descrita para el compresor del secadero de postsalado.

### 2.3. Selección del condensador exterior

La selección de los condensadores exteriores se realiza mediante el software que Frimetel dispone para ello. A continuación se muestran las tablas con los datos empleados como valores de entrada así como los datos técnicos y dimensiones de los condensadores exteriores seleccionados para cada secadero.

#### Postsalado

**Tabla 2.28:** Valores de entrada. Secadero: Postsalado.

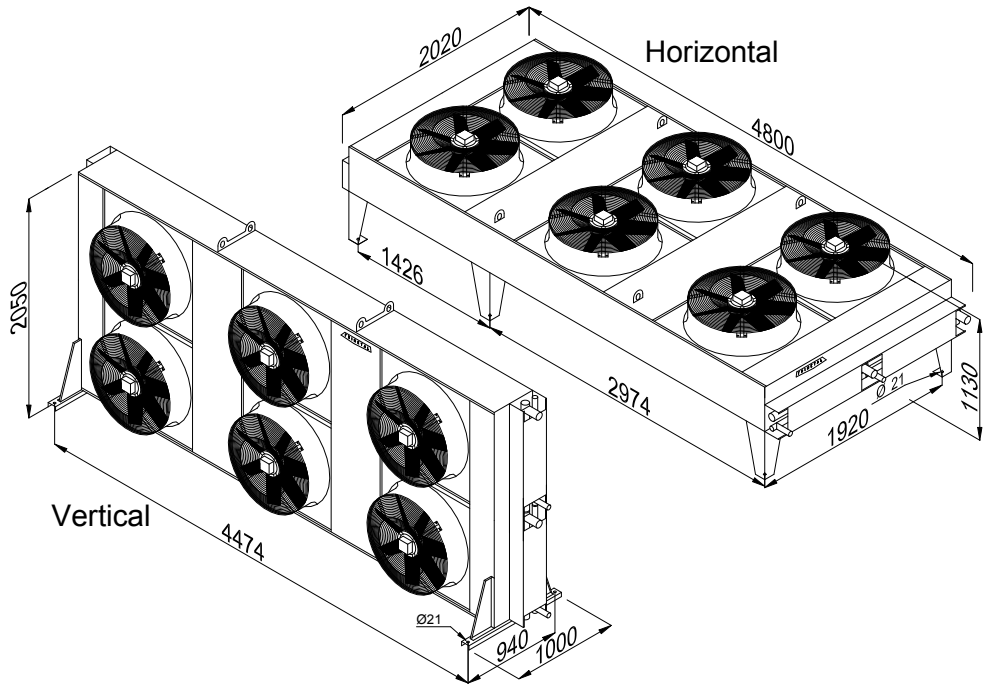
Refrigerante	R-404A
Temperatura ambiente $T_e$	32°C
Temperatura de condensación $T_c$	47°C
Capacidad del condensador	180,9kW

**Tabla 2.29:** Resultado. Secadero: Postsalado.

Modelo	CBS-226Y V
Capacidad	184kW
Peso	874kg

**Tabla 2.30:** Datos técnicos condensador CBS-226Y V.

Batería	
Superficie	$895m^2$
Volumen interior	$84dm^3$
Motoventiladores	
Caudal de aire	$42000m^3/h$
Nº ventiladores	6
Diámetro	800mm
rpm	350
Potencia total	1200W
Consumo Total	3A



**Figura 2.4:** Croquis de dimensiones condensador CBS-226Y.

### Postsalado-Secado

**Tabla 2.31:** Valores de entrada. Secadero: Postsalado-Secado.

Refrigerante	R-404A
Temperatura ambiente $T_e$	32°C
Temperatura de condensación $T_c$	47°C
Capacidad del condensador	178,8kW

**Tabla 2.32:** Resultado. Secadero: Postsalado-Secado.

Modelo	CBS-226Y V
Capacidad	184kW
Peso	874kg

Se trata del mismo condensador que el seleccionado para el secadero de postsalado por lo que los datos técnicos y dimensiones son los mismos.

### Secado

**Tabla 2.33:** Valores de entrada. Secadero: Secado.

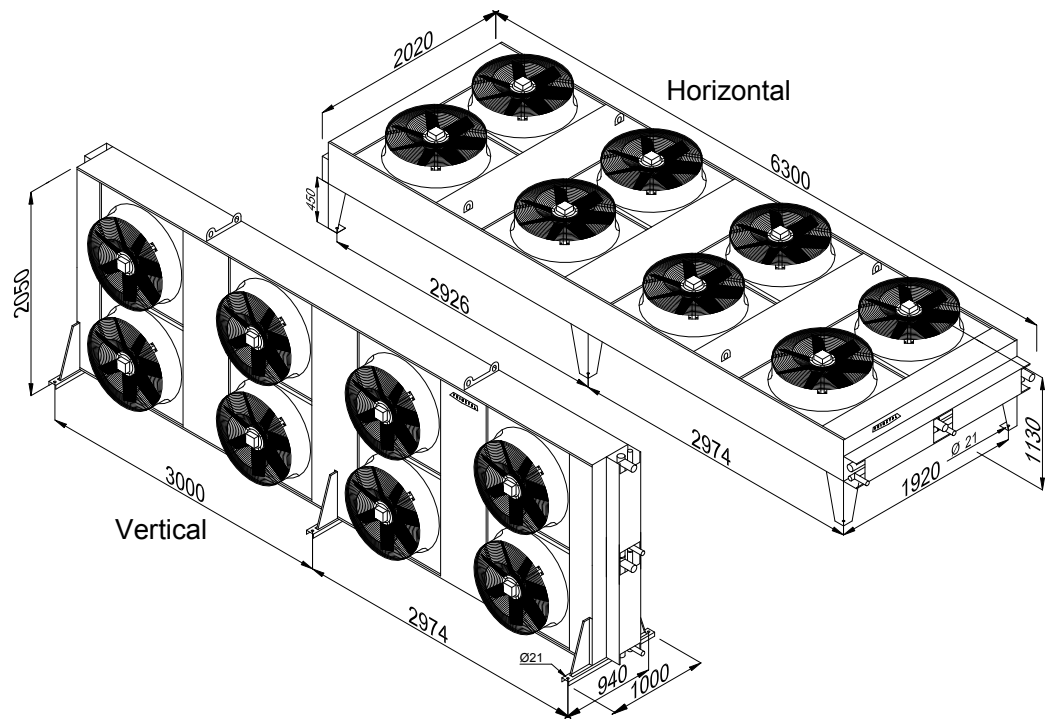
Refrigerante	R-404A
Temperatura ambiente $T_e$	32°C
Temperatura de condensación $T_c$	47°C
Capacidad del condensador	242,6kW

**Tabla 2.34:** Resultado. Secadero: Secado.

Modelo	CBS-301Y V
Capacidad	246kW
Peso	1152kg

**Tabla 2.35:** Datos técnicos condensador CBS-301Y V.

Batería	
Superficie	1193m <sup>2</sup>
Volumen interior	112dm <sup>3</sup>
Motoventiladores	
Caudal de aire	56000m <sup>3</sup> /h
Nº ventiladores	8
Diámetro	800mm
rpm	350
Potencia total	1600W
Consumo Total	4A



**Figura 2.5:** Croquis de dimensiones condensador CBS-301Y.

### Bodega

**Tabla 2.36:** Valores de entrada. Secadero: Bodega.

Refrigerante	R-404A
Temperatura ambiente $T_e$	32°C
Temperatura de condensación $T_c$	47°C
Capacidad del condensador	172,3kW

**Tabla 2.37:** Resultado. Secadero: Bodega.

Modelo	CBS-226Y V
Capacidad	184kW
Peso	874kg

Se trata del mismo condensador que el seleccionado para el secadero de postsalado por lo que los datos técnicos y dimensiones son los mismos.

## 2.4. Diseño del evaporador y condensador interior

### 2.4.1. Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor del evaporador

Coeficiente de película exterior.

Ecuaciones:

$$Nu = 0,134 Re^{0,681} Pr^{0,33} \left[ \frac{p_{alet} - w_{alet}}{L_{alet}} \right]^{0,2} \left[ \frac{p_{alet}}{w_{alet}} \right]^{0,1134} \quad (2.16)$$

$$Re = \frac{\rho v D_e}{\mu} \quad (2.17)$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (2.18)$$

$$Nu = \frac{h D_e}{k} \quad (2.19)$$

Valores constantes:

- $p_{alet}=4,4\text{mm.}$
- $w_{alet}=0,5\text{mm.}$
- $L_{alet}=13,28\text{mm.}$
- $v=1,8\text{m/s.}$
- $D_e=15,875\text{mm.}$

Los valores de las propiedades del aire son calculados a una temperatura media  $T_m$  igual a  $(T_w + T_{aire})/2$ . A su vez la temperatura de la pared se considera que es igual a la media de la temperatura de fluido circulante por los tubos y la temperatura de aire, es decir  $T_w = (T_o + T_{aire})/2$ . En la tabla 2.38 se muestran los valores de dichas temperaturas.

**Tabla 2.38:** Cálculo de la temperatura media  $T_m$ .

Evaporador	$T_o$ [°C]	$T_{aire}$ [°C]	$T_w$ [°C]	$T_m$ [°C]
Postsalado	-5	3	-1	1
Postsalado-Secado	0	8,5	4,25	6,375
Secado	4	14	9	11,5
Bodega	4	16	10	13

En la siguiente tabla se muestra el valor del coeficiente de película obtenido.

**Tabla 2.39:** Cálculo del coeficiente de película exterior del evaporador. Propiedades del aire a  $T_m$ .

Evaporador	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$ [Pas]	$C_p$ [J/kg/K]	$k$ [W/mK]
Postsalado	1,282	$1,727 \times 10^{-5}$	1013	0,024
Postsal.-Secado	1,255	$1,754 \times 10^{-5}$	1015	0,025
Secado	1,230	$1,778 \times 10^{-5}$	1017	0,025
Bodega	1,225	$1,785 \times 10^{-5}$	1018	0,025

Evaporador	$Re$	$Pr$
Postsalado	2121,20	0,7289
Postsal.-Secado	2044,56	0,7121
Secado	1976,79	0,7233
Bodega	1961,03	0,7269

**Tabla 2.40:** Cálculo del coeficiente de película exterior del evaporador  $h_e$ .

Evaporador	$h_e$ [W/m <sup>2</sup> K]
Postsalado	33,68
Postsal.-Secado	33,95
Secado	33,35
Bodega	33,23

**Coeficiente de película interior.**

Ecuaciones:

$$h_{i, \text{evap}} = 0,00122 \frac{k_l^{0,79} C_{p,l}^{0,45} \rho_l^{0,49}}{\sigma^{0,5} \mu_l^{0,29} h_{lv}^{0,24} \rho_v^{0,24}} (T_w - T_s)^{0,24} (p_w - p_s)^{0,75} \quad (2.20)$$

Valores constantes:

- $\sigma = 0,0097 \text{ N/m}$ .

**Tabla 2.41:** Cálculo del coeficiente de película interior del evaporador. Propiedades del refrigerante R-404A.

Evaporador	$\rho_l$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_v$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu_l$ [Pas]	$C_{p,l}$ [J/kg/K]	$k_l$ [W/mK]
Postsalado	1136,62	25,57	$1,91 \times 10^{-4}$	1390	0,08576
Postsal.-Secado	1114,73	30,05	$1,80 \times 10^{-4}$	1423	0,08318
Secado	1096,61	34,08	$1,71 \times 10^{-4}$	1452	0,08110
Bodega	1096,61	34,08	$1,71 \times 10^{-4}$	1452	0,08110

Evaporador	$h_{lv}$ [J/kg]	$T_s$ [°C]	$T_w$ [°C]	$p_s$ [Pa]	$p_w$ [Pa]	$h_i$ [W/m <sup>2</sup> K]
Postsalado	173100	-5	-1	512800	583900	2776,17
Postsal.-Secado	168870	0	4,25	602800	688300	3112,92
Secado	165310	4	9	683000	794300	3827,15
Bodega	165310	4	9	683000	794300	4621,23



**Coefficiente global de transmisión de calor.**

Ecuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i(D_i/D_e)} + \frac{D_e}{2k_{tub}} \ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right) + \frac{1}{h_e} \quad (2.21)$$

Valores constantes:

- $D_e=15,875\text{mm}$ .
- $D_i=14,875\text{mm}$ .
- $k_{tub}=401\text{W/mK}$ .

**Tabla 2.42:** Coeficiente global de transmisión de calor del evaporador.

Evaporador	$h_e$ [W/m <sup>2</sup> K]	$h_i$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U$ [W/m <sup>2</sup> K]
Postsalado	33,68	2776,17	29,92
Postsal.-Secado	33,95	3112,92	30,20
Secado	33,35	3827,15	29,74
Bodega	33,22	4621,23	29,67

Evaporador	$U_{evap} = 0,8U$ [W/m <sup>2</sup> K]
Postsalado	23,94
Postsal.-Secado	24,16
Secado	23,79
Bodega	23,74

**2.4.2. Cálculo del coeficiente global de transmisión de calor del condensador interior****Coefficiente de película exterior.**

Ecuaciones:

$$Nu = 0,134 Re^{0,681} Pr^{0,33} \left[ \frac{p_{alet} - w_{alet}}{L_{alet}} \right]^{0,2} \left[ \frac{p_{alet}}{w_{alet}} \right]^{0,1134} \quad (2.22)$$

$$Re = \frac{\rho v D_e}{\mu} \quad (2.23)$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (2.24)$$

$$Nu = \frac{h D_e}{k} \quad (2.25)$$

Valores constantes:

- $p_{alet}=4\text{mm}$ .
- $w_{alet}=0,5\text{mm}$ .
- $L_{alet}=13,28\text{mm}$ .
- $v=1,8\text{m/s}$ .
- $D_e=15,875\text{mm}$ .

Los valores de las propiedades del aire son calculados a la temperatura media  $T_m$  igual a  $(T_w + T_{aire})/2$ . A su vez la temperatura de la pared  $T_w = (T_c + T_{aire})/2$ . La temperatura del aire es la temperatura a la salida del evaporador, valores obtenidos del programa Coolpack. En la tabla 2.43 se muestran los valores de dichas temperaturas.

**Tabla 2.43:** Cálculo de la temperatura media  $T_m$ .

Evaporador	$T_c$ [°C]	$T_{aire}$ [°C]	$T_w$ [°C]	$T_m$ [°C]
Postsalado	47	-3	22	9,5
Postsalado-Secado	47	3,7	25,35	14,525
Secado	47	9,1	28,05	18,575
Bodega	47	11,8	29,4	20,6

**Tabla 2.44:** Cálculo del coeficiente de película exterior del condensador interior. Propiedades del aire a  $T_m$ .

Evaporador	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$ [Pas]	$C_p$ [J/kg/K]	$k$ [W/mK]
Postsalado	1,240	$1,727 \times 10^{-5}$	1019	0,025
Postsal.-Secado	1,215	$1,792 \times 10^{-5}$	1022	0,025
Secado	1,195	$1,811 \times 10^{-5}$	1025	0,026
Bodega	1,187	$1,821 \times 10^{-5}$	1026	0,026

Evaporador	$Re$	$Pr$
Postsalado	2004,13	0,7206
Postsal.-Secado	1937,42	0,7326
Secado	1885,54	0,7140
Bodega	1862,63	0,7186

En la siguiente tabla se muestra el valor del coeficiente de película obtenido.

**Tabla 2.45:** Cálculo del coeficiente de película exterior del evaporador  $h_e$ .

Evaporador	$h_e$ [W/m <sup>2</sup> K]
Postsalado	32,55
Postsal.-Secado	31,98
Secado	32,38
Bodega	32,18

**Coefficiente de película interior.**

Ecuaciones:

- Flujo anular.

$$h_{i,an} = h_i' \cdot \frac{1 + \sqrt{\rho_l/\rho_v}}{2} \quad (2.26)$$

donde

$$h_i' = 0,021 \frac{k_l}{D_i} Re^{0,8} Pr^{0,43} \quad (2.27)$$

- Flujo estratificado.

$$h_{i,est} = 0,8 \cdot 0,95 k_l \left[ \frac{\rho_l(\rho_l - \rho_v)g}{\mu_l \Gamma} \right]^{1/3} \quad (2.28)$$

Valores constantes:

- $\rho_l = 830,36 \text{ kg/m}^3$ .
- $\rho_v = 123,46 \text{ kg/m}^3$ .
- $\mu_l = 1,043 \times 10^{-4} \text{ Pas}$ .
- $Cp_l = 2175,42 \text{ J/kg/K}$ .
- $k_l = 0,057 \text{ W/mK}$ .
- $D_i = 14,875 \text{ mm}$ .
- $Pr = 3,98$ .

**Tabla 2.46:** Cálculo del coeficiente de película interior del condensador. Propiedades del refrigerante R-404A.

Evaporador	$v$ [m/s]	$Re$	$\Gamma$ [kg/ms]	$h_{i,an}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$h_{i,est}$ [W/m <sup>2</sup> K]
Postsalado	0,856	101319	0,0053	2646,69	946,16
Postsal.-Secado	0,865	102433	0,0041	2669,95	1034,79
Secado	0,980	116094	0,0037	2951,21	1062,44
Bodega	0,714	84558	0,0032	2290,21	1117,68

**Coefficiente global de transmisión de calor.**

Ecuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i(D_i/D_e)} + \frac{D_e}{2k_{tub}} \ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right) + \frac{1}{h_e} \quad (2.29)$$

Valores constantes:

- $D_e=15,875\text{mm}$ .
- $D_i=14,875\text{mm}$ .
- $k_{tub}=401\text{W/mK}$ .

**Tabla 2.47:** Coeficiente global de transmisión de calor del condensador interior.

Evaporador	$h_e$ [W/m <sup>2</sup> K]	$h_i$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U$ [W/m <sup>2</sup> K]
Postsalado	32,55	2646,69	28,92
Postsal.-Secado	31,98	2669,95	28,42
Secado	32,38	2951,21	28,80
Bodega	32,18	2290,21	28,53

Evaporador	$U_{cond} = 0,9U$ [W/m <sup>2</sup> K]
Postsalado	26,02
Postsal.-Secado	25,58
Secado	25,92
Bodega	25,68

**2.4.3. Dimensionado del evaporador y condensador interior**

Dado el caudal de aire que circula a través de las baterías, el área de paso  $A_{paso}$  de las mismas se obtiene de la ecuación 2.30. Donde la velocidad del aire  $v$  es 1,8m/s para que no se produzca el arrastre gotas de agua al interior de los secaderos. La tabla 2.48 muestra los valores del área de paso de las baterías de cada secadero.

$$\dot{V} = A_{paso}v \quad (2.30)$$

**Tabla 2.48:** Área de paso de las baterías en cada secadero.

Secadero	$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /h]	$v$ [m/s]	$A_{paso}$ [m <sup>2</sup> ]
Postsalado	28700	1,8	4,43
Postsal.-Secado	38000	1,8	5,86
Secado	56000	1,8	8,64
Bodega	47600	1,8	7,36

Con la ayuda de Coolpack se obtiene el valor de  $UA$  para el posterior dimensionamiento del evaporador y condensador interior. Como el coeficiente global de

transmisión de calor ha sido calculado anteriormente el área de transmisión de calor necesaria en cada batería se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 2.49:** Cálculo del área de transmisión de calor necesaria en el evaporador de cada secadero.

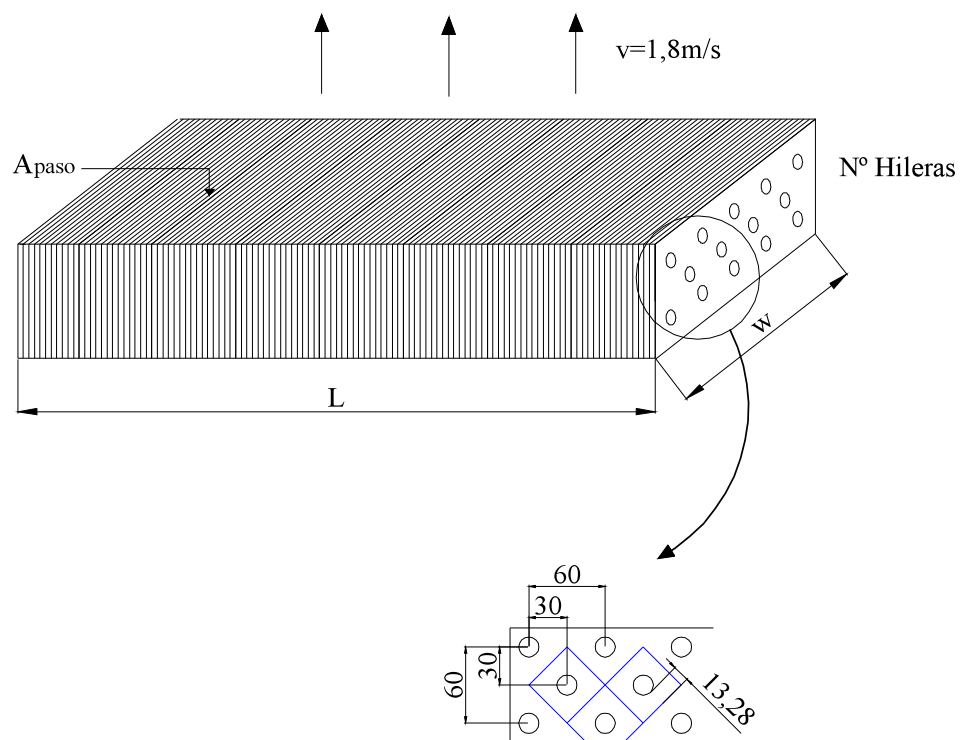
Evaporador	$U$ [W/m <sup>2</sup> K]	$UA$ [WK]	$A$ [m <sup>2</sup> ]
Postsalado	23,97	28404	1184,98
Postsal.-Secado	24,19	22116	914,26
Secado	23,81	24306	1020,83
Bodega	23,76	13289	559,30

**Tabla 2.50:** Cálculo del área de transmisión de calor necesaria en el condensador interior de cada secadero.

Condensador int.	$U$ [W/m <sup>2</sup> K]	$UA$ [WK]	$A$ [m <sup>2</sup> ]
Postsalado	26,06	4578,59	175,69
Postsal.-Secado	25,61	4929	192,46
Secado	25,95	7767	299,31
Bodega	25,71	5803	225,71

Para calcular los metros de tubo que son necesarios para evaporar o condensar el fluido es necesario calcular el área efectiva por m de tubo. Esto depende de la geometría de la batería seleccionada. La geometría de los tubos en la batería se muestra en la imagen 2.6. De acuerdo a dicha geometría y al espaciado entre aletas, el área efectiva por metro de tubo es:

- $p_{alet}=4,4\text{mm} \rightarrow A_{efec}=0,7782 \text{ m}^2/m_{tubo}$ .
- $p_{alet}=4\text{mm} \rightarrow A_{efec}=0,8511 \text{ m}^2/m_{tubo}$ .



**Figura 2.6:** Esquema de la geometría de las baterías empleadas para el evaporador y condensador interior.

Con el  $A_{efec}$  y el  $A$  de contacto mostrada en la tabla 2.50 se obtienen los metros de tubo  $M$  necesarios en cada intercambiador. A continuación se dimensiona el ancho de la batería  $w$  que es función del número de tubos que se coloquen en esa dirección  $N_w$ . Según la imagen 2.6 la distancia entre tubos en esa dirección es 60mm. Una vez determinado el ancho  $w$  de la batería, la longitud de los tubos  $L$  se obtiene de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{A_{paso}}{w} \quad (2.31)$$

Una vez determinado  $w$  y  $L$ , el número de hileras  $N_{hil}$  se obtiene de acuerdo a la ecuación 2.32.

$$N_{hil} = \frac{M}{N_w L} \quad (2.32)$$

En las tablas siguientes se muestran las dimensiones de las baterías diseñadas para el evaporador y el condensador interior de cada secadero.

**Tabla 2.51:** Dimensiones del evaporador en cada secadero.

Evaporador	$M$ [m]	$N_w$	$w = 0,06N_w$ [m]	$L$ [m]	$N_{hil}$
Postsalado	1522,67	30	1,8	2,46	21
Postsal.-Secado	1174,81	30	1,8	3,26	12
Secado	1311,75	36	2,16	4	10
Bodega	718,69	36	2,16	3,4	6

**Tabla 2.52:** Dimensiones del condensador interior en cada secadero.

Condensador int.	$M$ [m]	$N_w$	$w = 0,06N_w$ [m]	$L$ [m]	$N_{hil}$
Postsalado	206,44	30	1,8	2,46	3
Postsal.-Secado	226,14	30	1,8	3,26	3
Secado	351,69	36	2,16	4	3
Bodega	265,21	36	2,16	3,4	3

## 2.5. Pérdidas de carga

Ecuaciones:

$$\Delta p = \frac{fLv^2\rho}{D_i} \quad (2.33)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\kappa/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}}\right) \quad (2.34)$$

Valores constantes:

- $D_i=14,875\text{mm}$ .
- $\kappa=0,0015\text{mm}$ .

**Tabla 2.53:** Cálculo del coeficiente de fricción para cada batería.

	$v$ m/s	$\mu$ [Pas]	$Re$	$f$
Evap. Postsalado	0,887	$6,398 \times 10^{-5}$	74782	0,0196
Cond. int. Postsalado	0,855	$6,266 \times 10^{-5}$	106913	0,0183
Evap. Postsal.-Secado	0,756	$6,183 \times 10^{-5}$	68596	0,0199
Cond. int. Postsal.-Secado	0,865	$6,241 \times 10^{-5}$	108735	0,0182
Evap. Postsalado	0,804	$6,172 \times 10^{-5}$	74792	0,0196
Cond. int. Postsalado	0,980	$6,278 \times 10^{-5}$	122537	0,0178
Evap. Postsalado	0,978	$6,172 \times 10^{-5}$	91007	0,0188
Cond. int. Postsalado	0,714	$6,254 \times 10^{-5}$	89802	0,0189

**Tabla 2.54:** Cálculo de la pérdida de carga en cada batería.

	$L$ [m]	$v$ m/s	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	$f$	$\Delta p$ [bar]
Evap. Postsalado	73,8	0,887	362,78	0,0196	0,28
Cond. int. Postsalado	14,76	0,855	526,35	0,0183	0,07
Evap. Postsal.-Secado	48,9	0,756	377,09	0,0199	0,14
Cond. int. Postsal.-Secado	19,56	0,865	527,4	0,0182	0,09
Evap. Postsalado	48	0,804	386,16	0,0196	0,16
Cond. int. Postsalado	24	0,980	527,55	0,0178	0,15
Evap. Postsalado	40,8	0,978	386,17	0,0188	0,19
Cond. int. Postsalado	20,4	0,714	528,8	0,0189	0,07



## 2.6. Sistema acumulador de hielo estático

Precios:

- Horas punta: 0,043392€/kWh.
- Horas llano: 0,038608€/kWh.
- Horas valle: 0,023627€/kWh.

### Sistema de compresión de vapor convencional

Los secaderos se han diseñado para que funcionen un determinado número de horas al día, este tiempo se distribuye de manera homogénea a lo largo del día obteniendo los siguientes tiempos de funcionamiento a la hora.

**Tabla 2.55:** Tiempo de funcionamiento de los secaderos al día  $t_{func,dia}$  y a la hora  $t_{func,hora}$ .

Secadero	$t_{func,dia}$ [h]	$t_{func,hora}$ [min]
Postsalado	9	22,5
Postsal.-Secado	8	20
Secado	6	15
Bodega	6	15

*Cálculo del consumo económico diario del compresor y ventilador del condensador exterior.*

**Tabla 2.56:** Consumo diario secadero **Postsalado**.  $P_{comp} = 57,9kW$   $P_{vent,ext} = 1,2kW$ . Distribución horaria de invierno.

Día laborable	$t_{func}$ [h]	$P$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-8h	3	59,1	4,19
Horas Llano 8-17h	3,375	59,1	7,70
Horas Punta 17-23h	2,25	59,1	5,77
Horas Valle 23-24h	0,375	59,1	0,86
Total día			18,51

Día festivo	$t_{func}$ [h]	$P$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-18h	6,75	59,1	9,43
Horas Llano 18-24h	2,25	59,1	5,13
Total día			14,56

**Tabla 2.57:** Consumo diario secadero **Postsalado-Secado**.  $P_{comp} = 51,1kW$   $P_{vent,ext} = 1,2kW$ . Distribución horaria de invierno.

Día laborable	$t_{func}$ [h]	$P$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-8h	2,67	52,3	3,29
Horas Llano 8-17h	3	52,3	6,06
Horas Punta 17-23h	2	52,3	4,54
Horas Valle 23-24h	0,33	52,3	0,67
Total día			14,56

Día festivo	$t_{func}$ [h]	$P$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-18h	6	52,3	7,41
Horas Llano 18-24h	2	52,3	4,04
Total día			14,45

**Tabla 2.58:** Consumo diario secadero **Secado**.  $P_{comp} = 65,4kW$   $P_{vent,ext} = 1,6kW$ . Distribución horaria de invierno.

Día laborable	$t_{func}$ [h]	$P$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-8h	4	67	6,33
Horas Llano 8-17h	4,5	67	11,64
Horas Punta 17-23h	3	67	8,72
Horas Valle 23-24h	0,5	67	1,29
Total día			27,98

Día festivo	$t_{func}$ [h]	$P$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-18h	9	67	14,25
Horas Llano 18-24h	3	67	7,76
Total día			22,01

**Tabla 2.59:** Consumo diario secadero **Bodega**.  $P_{comp} = 42,9kW$   $P_{vent,ext} = 1,2kW$ . Distribución horaria de invierno.

Día laborable	$t_{func}$ [h]	$P$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-8h	4	44,1	4,17
Horas Llano 8-17h	4,5	44,1	7,66
Horas Punta 17-23h	3	44,1	5,74
Horas Valle 23-24h	0,5	44,1	0,85
Total día			18,42

Día festivo	$t_{func}$ [h]	$P$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-18h	9	44,1	9,38
Horas Llano 18-24h	3	44,1	5,10
Total día			14,48

La distribución horaria para las horas punta, llano y valle en el periodo verano difiere a la de invierno. Sin embargo, el número total de horas de cada tipo es constante por lo que el gasto diario es el mismo en verano e invierno.

### Sistema acumulador de hielo estático

El sistema de acumulación de hielo estático funciona continuamente a lo largo del día salvo las seis horas punta en las que el precio de la electricidad es mayor. Por otro lado el ciclo de refrigeración de la instalación funciona las 24h del día de acuerdo a la tabla ??, siendo la única potencia a considerar la de la bomba hidráulica.

*Cálculo del consumo económico diario del compresor, ventilador del condensador exterior y bombas hidráulicas.*

En las siguientes tablas  $t_{f,ref}$  representa el tiempo de funcionamiento de ciclo de refrigeración en el que sólo funciona la bomba hidráulica que hace circular el agua con glicol por el intercambiador de calor;  $P_{ref}$  representa la potencia de dicha bomba hidráulica;  $t_{f,acum}$  representa el tiempo de funcionamiento del ciclo de acumulación de hielo y  $P_{acum}$  representa la potencia consumida por el compresor, por los ventiladores del condensador exterior y por la bomba hidráulica que hace circular el agua con glicol por el evaporador.

**Tabla 2.60:** Consumo diario secadero **Postsalado**.  $P_{comp} = 25,8kW$   $P_{vent,ext} = 0,56kW$ . Distribución horaria de invierno.

Día laborable	$t_{f,ref}$ [h]	$t_{f,acum}$ [h]	$P_{ref}$ [kW]	$P_{acum}$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-8h	3	8	0,37	26,73	5,08
Horas Llano 8-17h	3,375	9	0,37	26,73	9,33
Horas Punta 17-23h	2,25	0	0,37	26,73	0,04
Horas Valle 23-24h	0,375	1	0,37	26,73	1,04
Total día					15,49

Día festivo	$t_{f,ref}$ [h]	$t_{f,acum}$ [h]	$P_{ref}$ [kW]	$P_{acum}$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-18h	6,75	18	0,37	26,73	11,43
Horas Llano 18-24h	2,25	0	0,37	26,73	0,03
Total día					11,46

**Tabla 2.61:** Consumo diario secadero **Postsalado-Secado**.  $P_{comp} = 19,29kW$   $P_{vent,ext} = 0,42kW$ . Distribución horaria de invierno.

Día laborable	$t_{f,ref}$ [h]	$t_{f,acum}$ [h]	$P_{ref}$ [kW]	$P_{acum}$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-8h	2,67	8	0,37	20,08	3,82
Horas Llano 8-17h	3	9	0,37	20,08	7,02
Horas Punta 17-23h	2	0	0,37	20,08	0,03
Horas Valle 23-24h	0,33	1	0,37	20,08	0,78
Total día					11,65

Día festivo	$t_{f,ref}$ [h]	$t_{f,acum}$ [h]	$P_{ref}$ [kW]	$P_{acum}$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-18h	6	18	0,37	20,08	8,59
Horas Llano 18-24h	2	0	0,37	20,08	0,03
Total día					8,62

**Tabla 2.62:** Consumo diario secadero **Secado**.  $P_{comp} = 34,6kW$   $P_{vent,ext} = 1,48kW$ . Distribución horaria de invierno.

Día laborable	$t_{f,ref}$ [h]	$t_{f,acum}$ [h]	$P_{ref}$ [kW]	$P_{acum}$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-8h	4	8	0,37	36,45	6,92
Horas Llano 8-17h	4,5	9	0,37	36,45	12,73
Horas Punta 17-23h	3	0	0,37	36,45	0,05
Horas Valle 23-24h	0,5	1	0,37	36,45	1,41
Total día					21,11

Día festivo	$t_{f,ref}$ [h]	$t_{f,acum}$ [h]	$P_{ref}$ [kW]	$P_{acum}$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-18h	9	18	0,37	36,45	15,58
Horas Llano 18-24h	3	0	0,37	36,45	0,04
Total día					15,62

**Tabla 2.63:** Consumo diario secadero **Bodega**.  $P_{comp} = 29kW$   $P_{vent,ext} = 0,8kW$ . Distribución horaria de invierno.

Día laborable	$t_{f,ref}$ [h]	$t_{f,acum}$ [h]	$P_{ref}$ [kW]	$P_{acum}$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-8h	4	8	0,37	30,17	5,73
Horas Llano 8-17h	4,5	9	0,37	30,17	10,55
Horas Punta 17-23h	3	0	0,37	30,17	0,05
Horas Valle 23-24h	0,5	1	0,37	30,17	1,17
Total día					17,50

Día festivo	$t_{f,ref}$ [h]	$t_{f,acum}$ [h]	$P_{ref}$ [kW]	$P_{acum}$ [kW]	Total [€]
Horas Valle 0-18h	9	18	0,37	30,17	12,91
Horas Llano 18-24h	3	0	0,37	30,17	0,04
Total día					12,95

**Tabla 2.64:** Consumo total mensual de los cuatro secaderos en el sistema convencional y en el sistema acumulador de hielo.

Mes	Sistema Convencional [€]	Sistema Acumulador Hielo [€]
Enero	2294,32	1867,30
Febrero	2089,82	1704,25
Marzo	2260,35	1832,97
Abril	2231,82	1814,34
Mayo	2311,31	1879,94
Junio	2214,83	1797,27
Julio	2311,31	1879,94
Agosto	2294,32	1862,86
Septiembre	2231,82	1814,34
Octubre	2328,39	1897,34
Noviembre	2294,32	1867,30
Diciembre	2277,34	1850,29
Total	27139,86	22068,44

Ahorro anual:  $27139,86 - 22068,44 = 5071,42\text{€}$



## **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

Titulación:

**INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO**

Título del proyecto:

**TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN  
SECADERO DE JAMONES**

Documento 3:

**PLANOS**

Alumno: Víctor Sancho Rodrigo

Tutor: Miguel Ángel Pascual Buisan

Pamplona, Junio 2013



# Documento 3

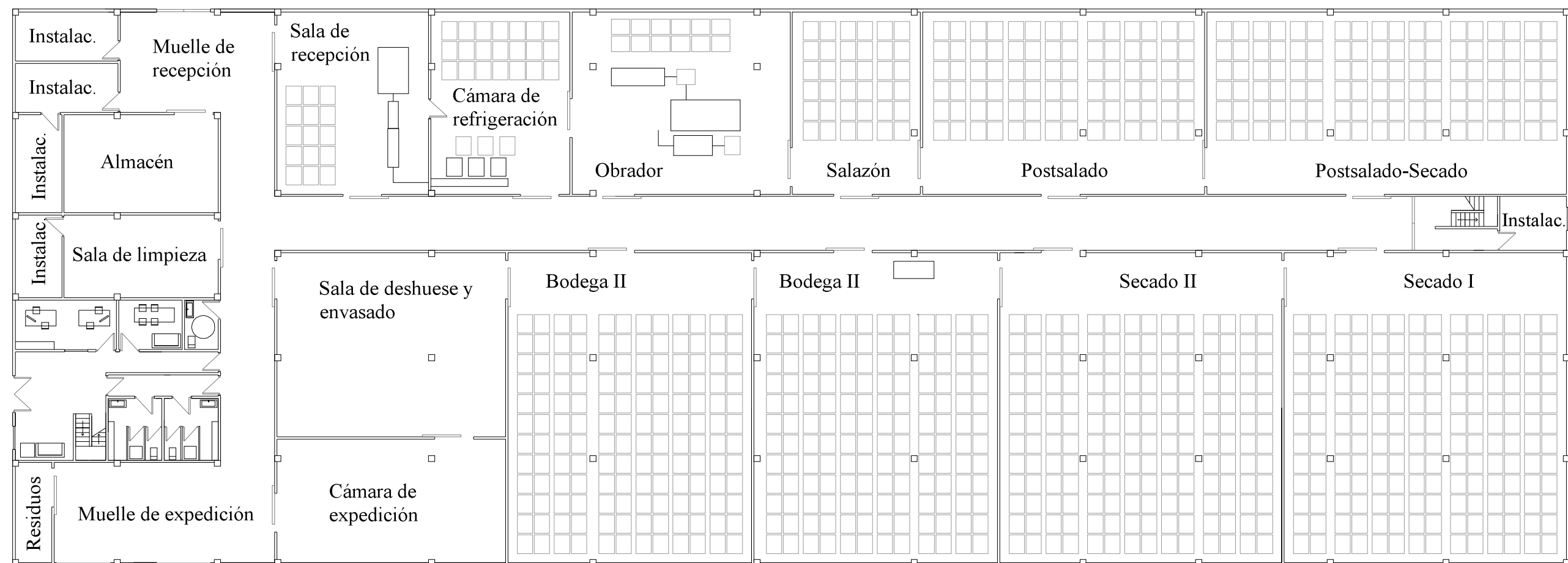
## Planos

### Índice

3.1. Planta 1 . . . . .	2
3.2. Planta 2 . . . . .	3
3.3. Planta 3 . . . . .	4
3.4. Planta 1: Áreas y Flujo del producto . . . . .	5
3.5. Esquema frigorífico: Postsalado . . . . .	6
3.6. Esquema frigorífico: Postsalado-Secado . . . . .	7
3.7. Esquema frigorífico: Secado . . . . .	8
3.8. Esquema frigorífico: Bodega . . . . .	9

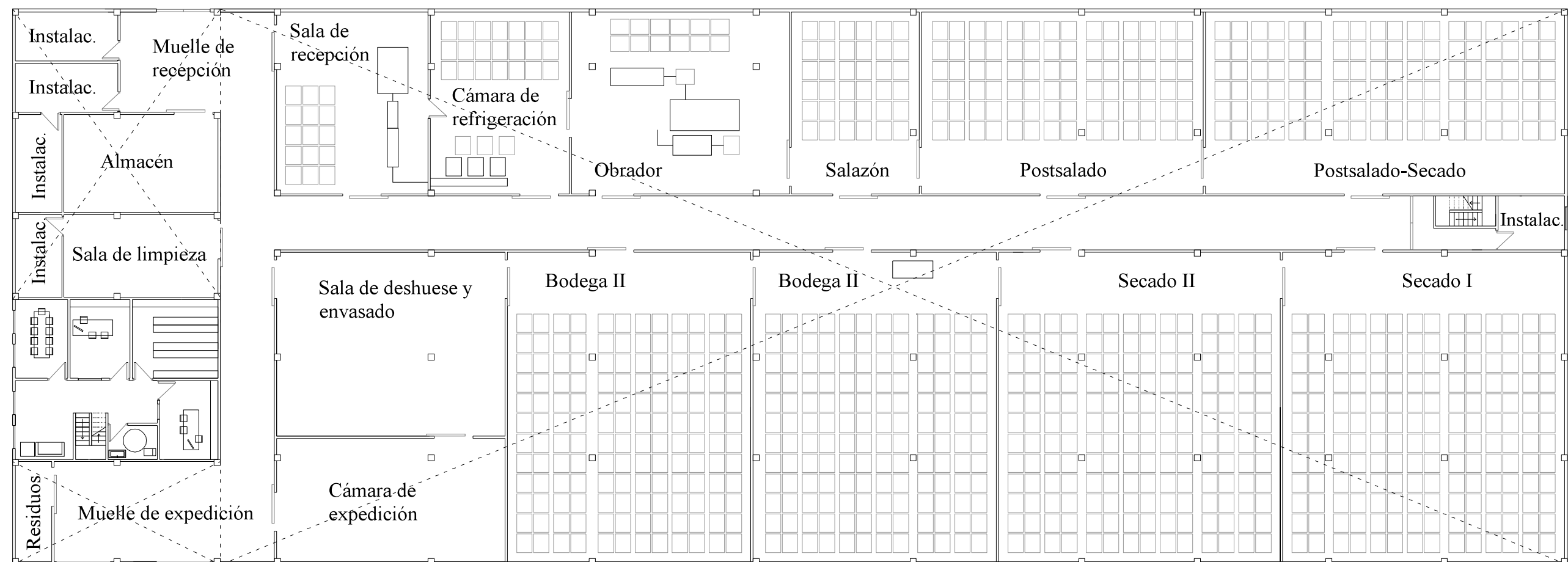


## 3.1. Planta 1



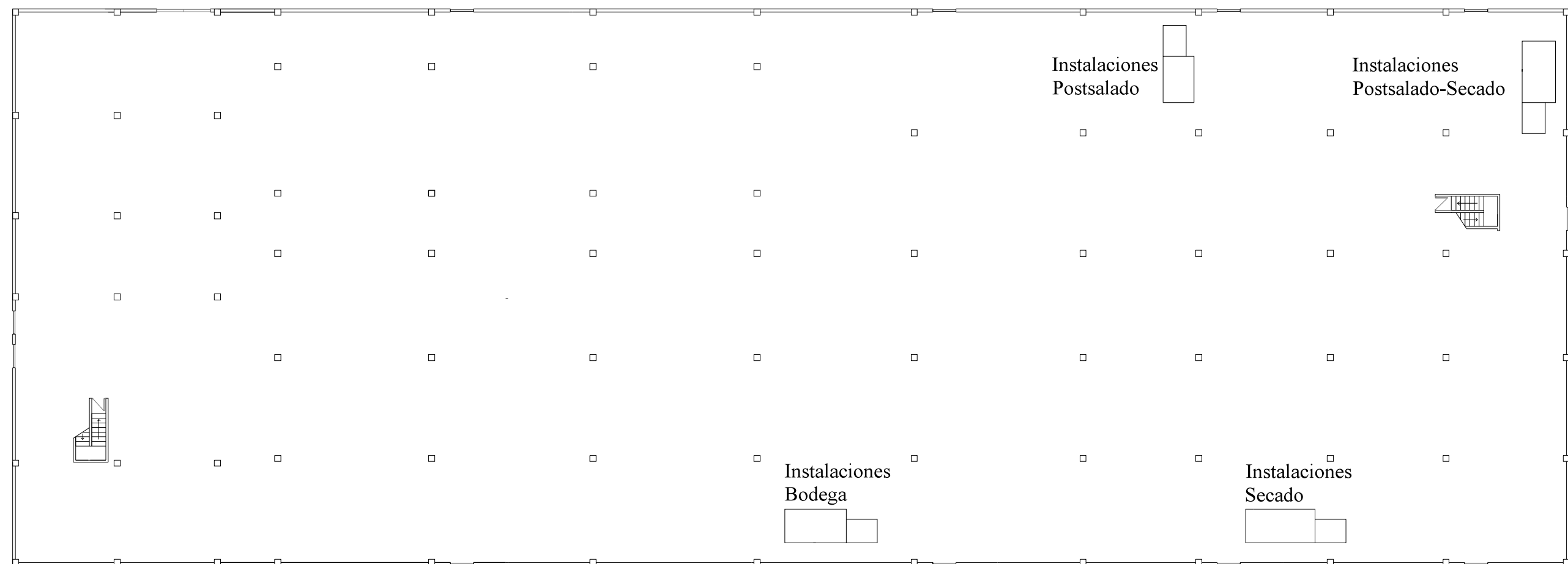
	Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	<b>E.T.S.I.I.T.</b>	DEPARTAMENTO: <b>DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES</b>		
		<b>INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.</b>	REALIZADO: <b>SANCHO RODRIGO, VÍCTOR</b>		
PROYECTO: <b>TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN SECADERO DE JAMONES</b>			FIRMA:		
PLANO: <b>PLANTA 1</b>			FECHA: 6/2013	ESCALA: 1/300	Nº PLANO: 3.01

## 3.2. Planta 2



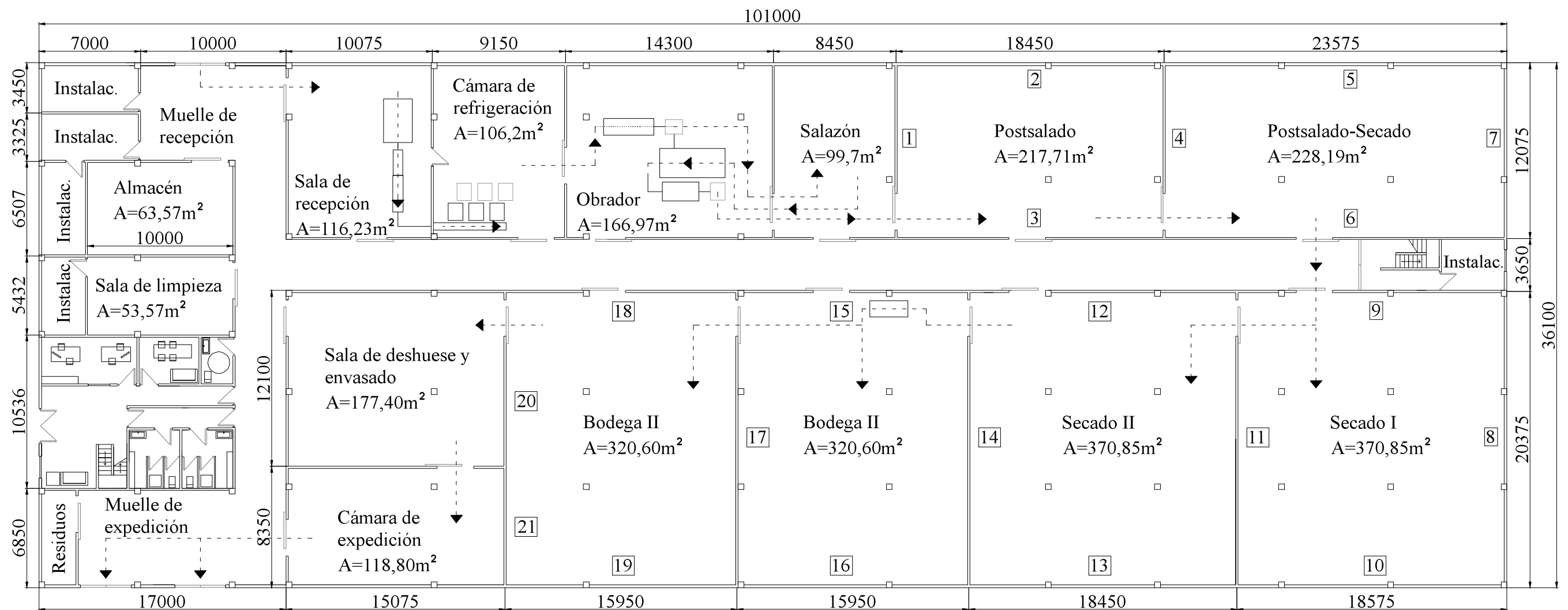
	Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	<b>E.T.S.I.I.T.</b>		DEPARTAMENTO: <b>DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES</b>		
		<b>INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.</b>				
PROYECTO: <b>TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN SECADERO DE JAMONES</b>				REALIZADO: <b>SANCHO RODRIGO, VÍCTOR</b>		
				FIRMA:		
PLANO: <b>PLANTA 2</b>				FECHA: 6/2013	ESCALA: 1/300	Nº PLANO: 3.02

### 3.3. Planta 3



	Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	<b>E.T.S.I.I.T.</b>		DEPARTAMENTO: <b>DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES</b>		
		<b>INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.</b>				
PROYECTO: <b>TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN SECADERO DE JAMONES</b>				REALIZADO: <b>SANCHO RODRIGO, VÍCTOR</b>		
				FIRMA:		
PLANO: <b>PLANTA 3</b>				FECHA: 6/2013	ESCALA: 1/300	Nº PLANO: 3.03





-----> Flujo del producto

1.....21 Numeración cerramientos

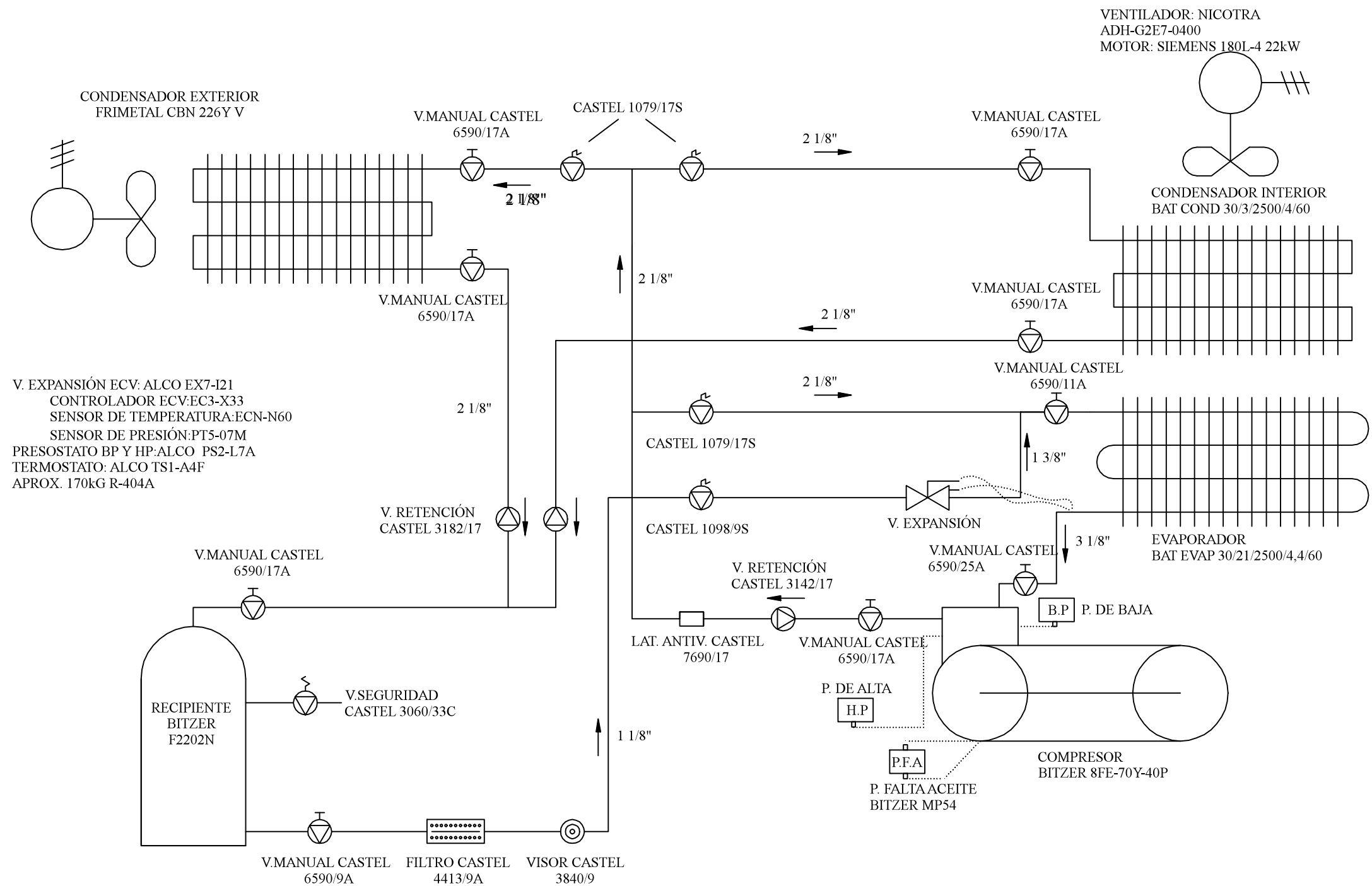
#### Maquinaria

- |  |                          |  |  |
|--|--------------------------|--|--|
|  | Marcadora de jamones     |  | Tolva vibradora para recuperación de sal |
|  | Desangradora-Masajeadora |  | Desaladora-Lavadora de jamones           |
|  | Clasificadora por peso   |  | Máquina para aplicar manteca             |
|  | Bombo de nitrificar      |  |  |

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	<b>E.T.S.I.I.T.</b> <b>INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.</b>		DEPARTAMENTO: <b>DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES</b>		
	PROYECTO: <b>TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN SECADERO DE JAMONES</b>		REALIZADO: <b>SANCHO RODRIGO, VÍCTOR</b>		
PLANO: <b>PLANTA 1: ÁREAS Y FLUJO DEL PRODUCTO</b>		FIRMA:		FECHA:	ESCALA:
				6/2013	1/300
				Nº PLANO:	
				3.04	

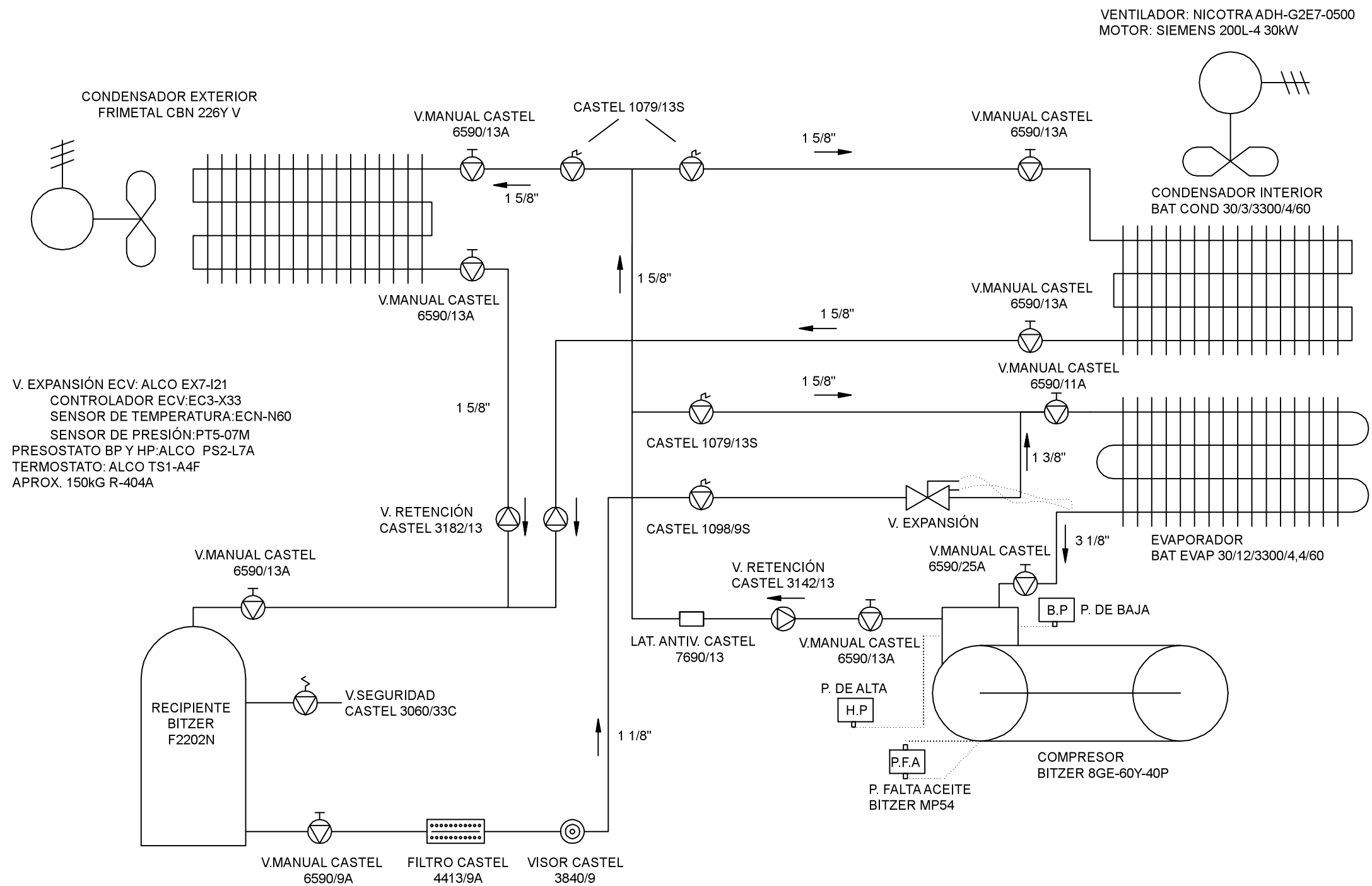


### 3.5. Esquema frigorífico: Postsalado



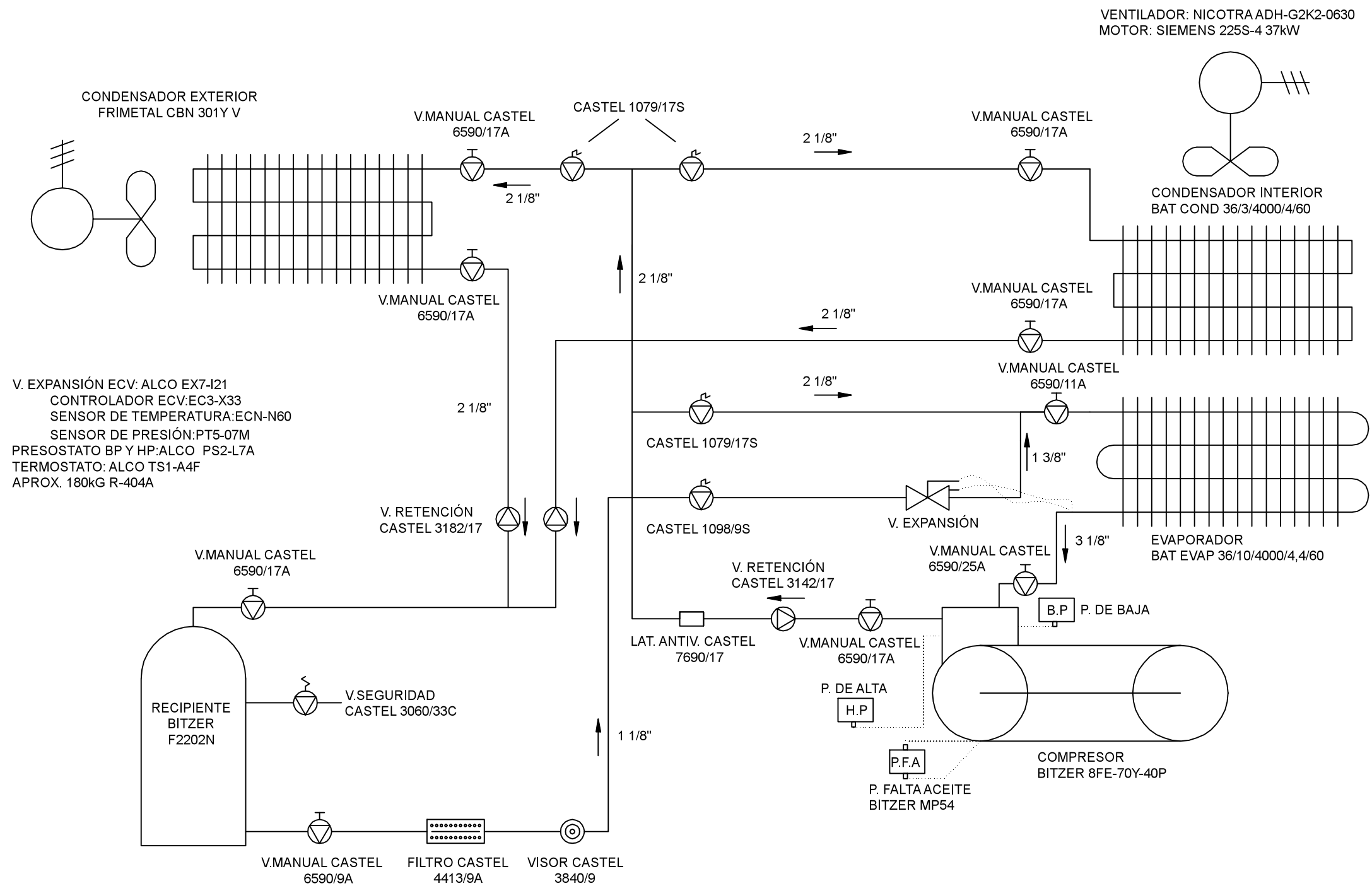
 Universidad Pública de Navarra <i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>	<b>E.T.S.I.I.T.</b> <b>INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.</b>		DEPARTAMENTO: <b>DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES</b>	
	PROYECTO: <b>TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN SECADERO DE JAMONES</b>		REALIZADO: <b>SANCHO RODRIGO, VÍCTOR</b>	
PLANO: <b>ESQUEMA FRIGORÍFICO: POSTSALADO</b>		FIRMA:	FECHA: 6/2013	ESCALA: N° PLANO: 3.05

### 3.6. Esquema frigorífico: Postsalado-Secado



 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	<b>E.T.S.I.I.T.</b>	DEPARTAMENTO: <b>DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES</b>		
	<b>INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.</b>			
PROYECTO: <b>TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN SECADERO DE JAMONES</b>	REALIZADO: <b>SANCHO RODRIGO, VÍCTOR</b>			
	FIRMA:			
PLANO: <b>ESQUEMA FRIGORÍFICO: POSTSALADO-SECADO</b>	FECHA: 6/2013	ESCALA:	Nº PLANO: 3.06	

### 3.7. Esquema frigorífico: Secado



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	<b>E.T.S.I.I.T.</b> <b>INGENIERO</b> <b>TÉCNICO INDUSTRIAL M.</b>		DEPARTAMENTO: <b>DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, ENERGÉTICA Y DE MATERIALES</b>	
	PROYECTO: <b>TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN SECADERO DE JAMONES</b>		REALIZADO: <b>SANCHO RODRIGO, VÍCTOR</b>	
PLANO: <b>ESQUEMA FRIGORÍFICO: SECADO</b>		FIRMA:	FECHA: 6/2013	ESCALA: N° PLANO: 3.07

### 3.8. Esquema frigorífico: Bodega







## **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

Titulación:

**INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO**

Título del proyecto:

**TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN  
SECADERO DE JAMONES**

Documento 4:

**PLIEGO DE CONDICIONES**

Alumno: Víctor Sancho Rodrigo

Tutor: Miguel Ángel Pascual Buisan

Pamplona, Junio 2013



# Documento 4

## Pliego de condiciones

### Índice

<b>4.1. Condiciones generales . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>4.2. Condiciones de índole facultativo . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>4.3. Condiciones de índole económica . . . . .</b>	<b>7</b>
<b>4.4. Condiciones de índole legal . . . . .</b>	<b>9</b>
<b>4.5. Observaciones . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>4.6. Condiciones técnicas . . . . .</b>	<b>13</b>
4.6.1. Sala de máquinas . . . . .	13
4.6.2. Instalación eléctrica . . . . .	15
4.6.3. Conductos de aire y accesorios . . . . .	15
4.6.4. Aislamiento térmico de los componentes del circuito frigorífico . . . . .	16
<b>4.7. Condiciones de recepción de productos . . . . .</b>	<b>19</b>
4.7.1. Control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas . . . . .	19
4.7.2. Productos afectados por la Directiva de Productos de la Construcción . . . . .	20
4.7.3. Productos no afectados por la Directiva de Productos de la Construcción . . . . .	21
<b>4.8. Marcado y documentación . . . . .</b>	<b>23</b>
4.8.1. Documentación . . . . .	24
<b>4.9. Prescripciones generales de las instalaciones . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>4.10. Ensayos, pruebas y revisiones previos a la puesta en servicio . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>4.11. Mantenimiento e inspección de las instalaciones frigoríficas . . . . .</b>	<b>38</b>
4.11.1. Mantenimiento . . . . .	38
<b>4.12. Medidas de prevención y de protección personal . . . . .</b>	<b>43</b>
<b>4.13. Refrigerantes. Manipulación y fugas. . . . .</b>	<b>46</b>

4.13.1. Manipulación y gestión de refrigerantes . . . . .	46
4.13.2. Reducción de fugas en las instalaciones frigoríficas . . . .	50
<b>4.14. Instalación de protección contra incendios . . . . .</b>	<b>56</b>
<b>4.15. Relación de normas de referencia . . . . .</b>	<b>59</b>

## 4.1. Condiciones generales

El presente Pliego forma parte de la documentación del Proyecto, que se cita y regirá en las obras para la realización del mismo. Las dudas que se planteasen en su aplicación o interpretación serán dilucidadas por el Ingeniero Director de la obra.

Por el mero hecho de intervenir en la obra, se presupone que la empresa frigorista y los gremios o subcontratas conocen y admiten el presente Pliego de Condiciones.

Los trabajos a realizar se ejecutarán de acuerdo con el Proyecto y demás documentos redactados por el Ingeniero autor del mismo.

La descripción del Proyecto y los planos de que consta figuran en el documento de la Memoria y el de Planos. Cualquier variación que se pretendiese ejecutar sobre la obra proyectada deberá ser puesta, previamente, en conocimiento del Ingeniero Director, sin cuyo conocimiento no será ejecutada. En caso contrario, la empresa frigorista, ejecutante de dicha unidad de obra, responderá de las consecuencias que ello originase. No será justificante ni eximente a estos efectos, el hecho de que la indicación de variación proviniera del señor Propietario.

La empresa frigorista nombrará un Encargado General, el cual deberá estar constantemente en obra mientras en ella trabajen obreros de su gremio. La misión del Encargado será la de entender y atender las órdenes de la Dirección Facultativa, deberá conocer el presente Pliego de Condiciones exhibido por la empresa frigorista y velará por que el trabajo se ejecute en buenas condiciones y según las buenas artes de la construcción.

Se dispondrá de un “Libro de Órdenes y Asistencias” del que se hará cargo el Encargado que señalará la Dirección. Se escribirá en el mismo aquellos datos, órdenes o circunstancias que se estimen convenientes. Asimismo, el Encargado podrá hacer uso del mismo, para hacer constar los datos que estime convenientes. El citado “Libro de Órdenes y Asistencias” se regirá según el Decreto 462/1.971 y la Orden de 9 de Junio de 1971.

## 4.2. Condiciones de índole facultativo

Es obligación de la empresa frigorista, ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aún cuando no se halle expresamente estipulado en los Pliegos de Condiciones, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Ingeniero Director y siempre dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos determinen para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

Las reclamaciones que el frigorista quiera hacer contra las órdenes emanadas del Ingeniero Director, sólo podrán ser presentadas a través del mismo ante la Propiedad si ellas son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los pliegos de condiciones correspondientes. Contra disposiciones de orden técnico o facultativo del Ingeniero Director, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el frigorista salvar su responsabilidad, si así lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida al Ingeniero Director, quién podrá limitar su contestación al acuse de recibo que, en todo caso, será de obligado cumplimiento para este tipo de reclamaciones.

Por falta en el cumplimiento de las Instrucciones de los Ingenieros o a sus subalternos de cualquier clase, encargados de la vigilancia de las obras, por manifiesta incapacidad o por actos que comprometan y perturben la marcha de los trabajos, el frigorista tendrá obligación de sustituir a sus dependientes y operarios, cuando el Ingeniero Director así lo reclame.

Obligatoriamente y por escrito, deberá el frigorista dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir veinticuatro horas de su iniciación. El frigorista, como es natural, debe emplear los materiales y mano de obra que cumplan las condiciones exigidas en las “Condiciones generales de índole técnica” y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados, de acuerdo con lo especificado también en dicho documento. Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la instalación, el frigorista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que, en éstos, puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados. Sin que pueda servirle de excusa ni le otorgue derecho alguno la circunstancia de que el Ingeniero Director o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valoradas en las certificaciones parciales de la obra que siempre se supone que se extienden y abonan a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Ingeniero Director o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados estos y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrán las partes defectuosas ser demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado y todo ello a expensas de la empresa frigorista.

Si el Ingeniero Director tuviese fundadas razones para creer en la existencia de defectos ocultos en las obras ejecutadas, ordenará efectuar, en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que suponga defectuosos. Los gastos de demolición y reconstrucción que

se ocasionen, serán de cuenta del frigorista, siempre que los vicios existan realmente. En caso contrario, correrán a cargo del propietario.

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos sin que antes sean examinados y aceptados por el Ingeniero Director, en los términos que prescriben los Pliegos de Condiciones, depositando al efecto, el frigorista, las muestras y modelos necesarios, previamente contraseñados, para efectuar con ellos las comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc., antes indicados, serán de cargo del frigorista. Cuando los materiales o aparatos no fueran de calidad requerida o no estuvieran perfectamente preparados, el Ingeniero Director dará orden al frigorista para que los remplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas por los Pliegos o, a falta de éstos, a las órdenes del Ingeniero Director.

Serán de cuenta y riesgo del frigorista, los andamios, cimbras, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesiten, no cabiendo, por tanto, al Propietario responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras por insuficiencia de dichos medios auxiliares.

La recepción de la instalación tendrá como objeto el comprobar que la misma cumple las prescripciones de la Reglamentación vigente y las especificaciones de las Instrucciones Técnicas, así como realizar una puesta en marcha correcta y comprobar, mediante los ensayos que sean requeridos, las prestaciones de contabilidad, exigencias de uso racional de la energía, contaminación ambiental, seguridad y calidad que son exigidas.

Todas y cada una de las pruebas se realizarán en presencia del director de obra de la instalación, el cual dará fe de los resultados por escrito. A lo largo de la ejecución, se deberán hacer pruebas parciales, controles de recepción, etc., de todos los elementos que haya indicado el director de obra. Particularmente todas las uniones o tramos de tuberías, conductos o elementos que por necesidades de la obra vayan a quedarse ocultos, deberán ser expuestos para su inspección o expresamente aprobados, antes de cubrirlos o colocar las protecciones requeridas.

Terminada la instalación, será sometida por partes o en su conjunto a las pruebas que se indican, sin perjuicio de aquellas otras que solicite el director de la obra. Una vez realizadas las pruebas finales con resultados satisfactorios para el director de obra, se procederá, al acto de recepción provisional de la instalación. Con este acto se dará por finalizado el montaje de la instalación.

Transcurrido el plazo contractual de garantía, en ausencia de averías o defectos de funcionamiento durante el mismo, o habiendo sido estos convenientemente subsanados, la recepción provisional adquirirá carácter de recepción definitiva, sin realización de nuevas pruebas, salvo que por parte de la propiedad haya cursado avisado en contra antes de finalizar el periodo de garantía establecido.

Es condición previa para la realización de las pruebas finales que la instalación se encuentre totalmente terminada de acuerdo con las especificaciones del proyecto, así como que haya sido previamente equilibrada y puesta a punto y se hayan cumplido las exigencias previas que haya establecido el director de obra tales como limpieza, suministro de energía, etc..

Como mínimo deberán realizarse las pruebas específicas que se indican referentes a las exigencias de seguridad y uso racional de la energía. A continuación se realizarán las pruebas globales del conjunto de la instalación.

Además de todas las facultades particulares, que corresponden al Ingeniero Director, expresadas anteriormente, es misión específica suya la dirección y vigilancia de los trabajos que en las obras se realicen, bien por sí mismo o por medio de sus representantes técnicos. Todo ello con autoridad técnica legal, completa e indiscutible, incluso en todo lo no previsto sobre las personas y cosas situadas en la obra y relación con los trabajos que, para la ejecución de las instalaciones u obras anejas, se lleven a cabo, pudiendo incluso, pero con causa justificada, recusar al Instalador, si considera que, el adoptar esta resolución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.



### 4.3. Condiciones de índole económica

Como base fundamental de estas “Condiciones Generales de índole Económica”, se establece el principio de que el frigorista debe percibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que éstos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y Condiciones Generales particulares que rijan la construcción.

Si el frigorista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para utilizar la obra en las condiciones contratadas, el Ingeniero Director, en nombre y representación del Propietario, las ordenará ejecutar a un tercero, o directamente por administración, sin perjuicio de las acciones legales que tenga derecho el Propietario.

Los precios de unidades de obra, así como de los materiales o mano de obra de trabajos, que no figuren entre los contratados, se fijarán contradictoriamente entre el Ingeniero Director y el frigorista o su representante expresamente autorizado a estos efectos. El frigorista los presentará descompuestos, siendo condición necesaria la presentación y aprobación de estos precios, antes de proceder a la ejecución de las unidades de obra correspondientes.

Si el frigorista, antes de la firma del Contrato, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá, bajo ningún pretexto de error u omisión, reclamar aumento de precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirve de base para la ejecución de las obras.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en indicaciones que, sobre las obras, se hagan en la Memoria, por no ser este documento el que sirva de base a la empresa frigorista. Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las cantidades de obra en su importe, se corregirán en cualquier momento que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión del Contrato, señalados en los documentos relativos a las “Condiciones Generales o Particulares de índole Facultativa”, sino en el caso de que el Ingeniero Director o el frigorista los hubieran hecho notar dentro del plazo de cuatro meses contados desde la fecha de la adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha en la empresa frigorista, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, pues esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

El frigorista deberá percibir el importe de todas aquellas unidades de obra que haya ejecutado, con arreglo a sujeción a los documentos del Proyecto, a las condiciones de la empresa frigorista y a las órdenes e instrucciones que, por escrito, entregue el Ingeniero Director, y siempre dentro de las cifras a que asciendan los presupuestos aprobados.

Tanto en las certificaciones como en la liquidación final, las obras serán, en todo caso, abonadas a los precios que para cada unidad de obra figuren en la oferta aceptada, a los precios contradictorios fijados en el transcurso de las obras, de acuerdo con lo previsto en el presente “Pliego de Condiciones Generales de índole económica” a estos efectos, así como respecto a las partidas alzadas y obras accesorias y complementarias.

En ningún caso, el número de unidades que se consigne en el Proyecto o en el Presupuesto podrá servir de fundamento para reclamaciones de ninguna especie.

En ningún caso podrá el frigorista, alegando retraso en los pagos, suspender trabajos ni ejecutarlos a menor ritmo que el que les corresponda, con arreglo al plazo en que deban terminarse.

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que el Ingeniero Director haya ordenado por escrito la ejecución de trabajos nuevos que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el Contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del proyecto, a menos que el Ingeniero Director ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

El frigorista estará obligado a asegurar la instalación contratada, durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva, la cuantía del seguro coincidirá, en cada momento, con el valor que tengan, por empresa frigorista, los objetos que tengan asegurados.

Si el frigorista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la instalación durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el Propietario, procederá a disponer todo lo que sea preciso para que se atienda al mantenimiento, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la empresa frigorista.

El Ingeniero Director se niega, de antemano, al arbitraje de preciso, después de ejecutada la obra, en el supuesto que los precios base contratados no sean puestos en su conocimiento previamente a la ejecución de la obra.

## 4.4. Condiciones de índole legal

Ambas parte se comprometen, en sus diferencias, al derecho de amigables componedores, designados, uno de ellos por el Propietario, otro por la empresa frigorista y tres ingenieros por el C. O. correspondiente, uno de los cuales será forzosamente, el Director de la Obra.

El frigorista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el Contrato y en los documentos que componen el Proyecto (la Memoria no tendrá consideración de documento del Proyecto).

Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la demolición y reconstrucción de todo lo mal ejecutado, sin que pueda servir de excusa el que el Ingeniero Director haya examinado y reconocido la construcción durante las obras, ni el que hayan sido abonadas en liquidaciones parciales.

Todos los trabajos o materiales empleados cumplirán la “Resolución General de Instrucciones para la Construcción”.

En todos los trabajos que se realicen en la obra se observarán y el encargado será el responsable de hacer cumplir las normas que dispone el vigente Reglamento de seguridad en el Trabajo en la industria de la construcción, aprobado el 20 de Mayo de 1.952, las Ordenes complementarias de 19 de Diciembre de 1.953 y 23 de Septiembre de 1.966, y en la Ordenanza general de Seguridad e Higiene en el Trabajo, aprobado por Orden de 14 de Abril de 1.997, así como lo dispuesto en la Ley 31/95 de 8 de Noviembre de Prevención de los Riesgos Laborales.

La empresa frigorista, en relación con la ejecución de la obra es responsable de:

- Que los componentes y materiales por ella suministrada sean adecuados a las condiciones de trabajo previstas y cumplan la normativa vigente.
- Que la ejecución de las uniones soldadas se lleve a cabo por personal acreditado, estableciendo los métodos de trabajo y controles necesarios para asegurar el cumplimiento de las reglamentaciones aplicables.
- La realización y certificación de las pruebas de presión y estanqueidad parciales y totales.
- Verificar el buen estado de funcionamiento de los elementos de seguridad del circuito frigorífico.
- Que se alcancen las condiciones de diseño de la instalación durante su funcionamiento.
- Colocar en la instalación el cartel de seguridad.
- Entregar al titular la documentación de la instalación.
- Registrar todas sus intervenciones frigoríficas realizadas en la instalación frigorífica en el libro registro de la Instalación.
- Conservar debidamente actualizado el libro de gestión de refrigerantes conforme a lo especificado en el presente pliego.

La empresa frigorista, en relación con el mantenimiento de las instalaciones frigoríficas, es responsable de:

- Disponer y mantener actualizado un registro de los contratos de mantenimiento en vigor.
- Verificar el buen estado de funcionamiento de los elementos de seguridad del circuito frigorífico.
- Informar por escrito al usuario de las deficiencias detectadas y que puedan afectar a la seguridad y al buen funcionamiento de la instalación frigorífica.
- Que el libro registro de la instalación se encuentre correctamente cumplimentado y actualizado, anotando todas sus intervenciones en dicho libro registro.
- Justificar documentalmente cualquier cambio que se estime necesario introducir en el funcionamiento de la instalación, incluyendo los planos, esquemas e instrucciones de servicio afectados por estos cambios.
- Que cuando en una instalación sea necesario sustituir equipos, componentes o piezas de los mismos, los nuevos elementos que se instalan cumplan la normativa vigente.
- Cuando el sistema de condensación de la instalación frigorífica esté equipado con torres de refrigeración de agua o condensadores evaporativos, deberá facilitar, mediante la ejecución de los trabajos que le correspondan, la aplicación de los tratamientos prescritos en el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Que la ejecución de las uniones soldadas se lleve a cabo por personal acreditado, estableciendo los métodos de trabajo y controles necesarios para asegurar el cumplimiento de las reglamentaciones y directivas aplicables.
- La realización y certificación de las pruebas de presión y estanqueidad parciales y totales, así como los controles periódicos de fugas.
- La recuperación de los fluidos refrigerantes sin pérdida de fluido a la atmósfera y su entrega, en su caso, a un gestor de residuos autorizado.
- Conservar debidamente actualizado el libro de registro de gestión de refrigerantes conforme a lo especificado en el presente pliego.

El instalador o el director de la instalación, cuando la participación de este último sea preceptiva, deberán realizar los siguientes controles:

- Control de la recepción de equipos y materiales: en el momento de la recepción de equipos y materiales deberá comprobarse la documentación y distintivos de los suministros. En particular, se verificará que los equipos y materiales estén provistos de marcado “CE” o de las declaraciones de conformidad o certificaciones que resulten exigibles.

- Control de la ejecución de la instalación: el control de la ejecución de las instalaciones se realizará de acuerdo con las especificaciones técnicas del proyecto o memoria técnica, y las modificaciones autorizadas por el instalador o, en su caso, el director de la instalación.
- La instalación de equipos y materiales deberá llevarse a cabo de tal manera que permita la realización, de forma segura, de las operaciones de mantenimiento y control previstas por el fabricante.
- En todo caso, las uniones permanentes que deban realizarse en las instalaciones se llevarán a cabo con procedimientos de soldadura adecuados y por profesionales acreditados.
- Control de la instalación terminada: una vez finalizada la instalación, deberán realizarse los ensayos, pruebas y revisiones indicados en el presente pliego y, en su caso, en el proyecto o memoria técnica.

Una vez finalizada la instalación y realizadas las pruebas de idoneidad de la instalación con carácter previo a la puesta en servicio de la misma, el titular presentará ante el órgano competente de la correspondiente comunidad autónoma, la siguiente documentación:

- Proyecto o breve memoria técnica, según proceda, de la instalación realmente ejecutada.
- El certificado de la instalación suscrito por la empresa frigorista y el director de la instalación, cuando la participación de este último sea preceptiva .
- Certificado de instalación eléctrica firmado por un instalador en baja tensión.
- Las declaraciones de conformidad de los equipos a presión de acuerdo con el Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo, y el Real Decreto 1495/1991, de 11 de octubre y, en su caso, de los accesorios de seguridad o presión.
- En su caso, copia de la póliza del seguro de responsabilidad civil y el contrato de mantenimiento con una empresa instaladora frigorista cuando así esté establecido.

## 4.5. Observaciones

El Ingeniero no será responsable, ante la Entidad Propietaria, de la demora de los Organismos Competentes en la tramitación del proyecto ni de la tardanza de su aprobación. La gestión de la tramitación se considera ajena al Ingeniero.

La orden de comienzo de la obra será indicada por Sr. Propietario, quién responderá de ello si no dispone de los permisos correspondientes.

Los documentos del Proyecto redactados por el Ingeniero que suscribe, y el conjunto de normas y condiciones que figuran en el presente Pliego de condiciones, y también las que, de acuerdo con éste, sean de aplicación en el “Pliego de Condiciones Varias de la Edificación”, constituyen el Contrato que determina y regula las obligaciones y derechos de ambas partes contratantes, las cuales obligan a dirimir todas las divergencias que hasta su total cumplimiento pudieran surgir, por amigables componedores y preferentemente por el Ingeniero Director de los Trabajos.

## 4.6. Condiciones técnicas

### 4.6.1. Sala de máquinas

Las salas de máquinas específicas deberán servir para alojar exclusivamente los componentes de la instalación frigorífica y demás equipos técnicos auxiliares.

Se deberá evitar que las emisiones de gas refrigerante procedentes de estas salas de máquinas puedan penetrar en los recintos próximos, escaleras, patios, pasillos o canalizaciones de desagüe del edificio, debiendo ser evacuado el gas sin ningún riesgo.

En caso de peligro deberá ser posible abandonar la sala de máquinas específica de forma inmediata, por lo que los pasillos estarán despejados de cualquier elemento (botellas y contenedores de refrigerantes) que impidan o dificulten la libre circulación del personal.

El suministro de aire para motores de combustión, quemadores o compresores de aire deberá provenir de un lugar donde no haya vapores del refrigerante. Tales equipos deberán estar instalados únicamente en una sala de máquinas específica. Cuando el sistema frigorífico trabaje con refrigerantes del grupo L1, el aire necesario deberá provenir del exterior de dicha sala.

No habrá ningún equipo productor de llama libre permanentemente instalado y en funcionamiento. Los materiales inflamables, exceptuando los refrigerantes, no deberán ser almacenados en las salas de máquinas específicas.

Fuera de la sala de máquinas específica y cerca de su puerta de entrada se deberá instalar un interruptor de emergencia que permita parar el sistema de refrigeración.

Se deberá proveer de un sistema de ventilación natural o forzada. En el caso de ventilación forzada se deberá instalar un control de emergencia independiente, localizado en el exterior y cerca de la puerta de la sala de máquinas específica.

No se emplazarán aberturas al exterior por debajo de las escaleras de emergencia.

Toda red de tuberías y conductos que pasen a través de paredes, techos y suelos de salas de máquinas específicas deberá estar herméticamente sellada.

Cada sala de máquinas específica deberá disponer, como mínimo, de dos extintores portátiles de polvo polivalentes (ABC), uno de ellos situado junto a la puerta de salida y el otro en el otro extremo de la sala. Para aquellos sistemas que utilicen refrigerantes inflamables, se deberán colocar extintores portátiles en la proximidad de las entradas de las cámaras frigoríficas y locales de trabajo que contengan componentes frigoríficos. En cualquier caso, se deberán satisfacer las prescripciones emanadas de la normativa vigente sobre protección contra incendios.

En las entradas a las salas de máquinas específicas deberá colocarse un cartel que las identifique como tales y donde se advierta de la prohibición de entrar a las personas no autorizadas así como la prohibición de fumar y utilizar elementos con llama o de incandescencia. Además se deberán colocar carteles prohibiendo la manipulación del sistema a personas no autorizadas.

Las dimensiones, de acuerdo con los criterios específicos, de las salas de máquinas deberán permitir la instalación de los componentes en condiciones favorables, para asegurar el servicio, mantenimiento, funcionamiento y desmontaje de los mis-

mos. Si se utiliza una cabina como sala de máquinas específica, el libre acceso para servicio y mantenimiento se podrá lograr desmontando una parte de dicha cabina o mediante puertas especiales.

En caso necesario deberán preverse pasarelas y escaleras especiales para el montaje, funcionamiento, mantenimiento y revisión del sistema, de forma que se evite andar sobre las tuberías, conexiones, soportes, estructuras de sujeción y otros componentes. Deberá existir una altura libre, de al menos 2,3 m, bajo los componentes situados sobre accesos y lugares de trabajo permanentes.

Las salas de máquinas específicas deberán tener puertas que se abran hacia afuera, en un número suficiente para asegurar, en caso de emergencia, una evacuación rápida del personal.

Las puertas se deberán fabricar de tal manera que se puedan abrir desde dentro (sistema antipánico).

Las puertas se deberán cerrar solas, de forma automática, si proporcionan acceso directo al edificio.

No deberá haber aberturas que permitan el paso accidental de refrigerante, vapores, olores y de cualquier otro gas que se escape hacia otras partes del edificio.

Las salas de máquinas específicas deberán realizarse con cerramientos (incluidas las puertas) cuyas características relativas a materiales, espesores y ejecución cumplan con el Reglamento de Seguridad contra incendios en establecimientos industriales, aprobado por Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, el Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo y la correspondiente ordenanza municipal relativa a la amortiguación del nivel sonoro, según corresponda.

Las salas de máquinas específicas se airearán mediante ventilación natural, a través de ventanas, celosías u orificios de aireación o mediante ventilación forzada hacia el exterior del edificio de forma que no causen daños o supongan peligro a las personas o bienes.

Se adoptarán las suficientes previsiones para garantizar el suministro de aire de renovación exterior así como la buena distribución de éste en la sala de máquinas específica, de forma que no existan zonas muertas. Las aberturas de entrada para este aire exterior se deberán situar de forma que se eviten cortocircuitos.

Se instalarán conductos para la ventilación en aquellos casos que sean necesarios para garantizar los citados requisitos de suministro y distribución de aire.

Los fluidos refrigerantes pueden ser más pesados o más ligeros que el aire. Para aquellos más pesados, al menos el 50 % del volumen de aire que se está renovando, se tomará de los puntos más bajos de la sala de máquinas específica y la entrada de aire exterior estará situada en el punto más alto. Para aquellos más ligeros que el aire, el volumen que se renueva saldrá de los puntos más altos de la sala de máquinas, por lo que la entrada de aire exterior se situará cerca del punto más bajo de la misma.

En las salas de máquinas específicas con construcción total o parcialmente subterránea o en cualquier otra sala de máquinas específica donde no sea posible la ventilación natural del aire se hará funcionar un sistema de ventilación forzada siempre que haya personal presente. El sistema deberá proporcionar un caudal mínimo de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  por persona o por cada  $10 \text{ m}^2$  de superficie de suelo (el mayor de ambos). Cuando no haya personal presente, la ventilación de emergencia se deberá controlar automáticamente mediante un detector de refrigerante.



### 4.6.2. Instalación eléctrica

El proyecto, construcción, montaje, verificación y utilización de las instalaciones eléctricas, se ajustarán a lo dispuesto en el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) y sus instrucciones técnicas complementarias.

Los circuitos eléctricos de alimentación de los sistemas frigoríficos se instalarán de forma que la corriente se establezca o interrumpa independientemente de la alimentación de otras partes de la instalación, en especial, de la red de alumbrado (normal y de emergencia), dispositivos de ventilación y sistemas de alarma.

Deberán incorporar protección diferencial y magnetotérmica por cada elemento principal (compresores, ventiladores de los condensadores, evaporadores, etc.) y por circuito de maniobra.

Con independencia de lo prescrito en el vigente REBT y las instrucciones técnicas complementarias correspondientes, las instalaciones frigoríficas deberán estar protegidas contra contactos indirectos de la siguiente manera:

- En caso de instalaciones centralizadas, cada elemento principal deberá estar debidamente protegido: compresor, condensador, evaporador y bomba de circulación de fluido.
- En caso de circuitos independientes constituidos por un único conjunto compresor, condensador y evaporador, será suficiente una única protección para el conjunto.
- Las resistencias eléctricas de desescarche de todos los evaporadores podrán estar protegidas por un único dispositivo, al igual que las de desagüe.

Con estas disposiciones se pretende, además de la protección de las personas, añadir otras medidas que reduzcan al mínimo el deterioro de los productos almacenados y aseguren el funcionamiento permanente de una parte razonable de la instalación

### 4.6.3. Conductos de aire y accesorios

Cualquiera que sea el tipo de conductos para aire, éstos estarán formados por materiales que no propaguen el fuego, ni desprendan gases tóxicos en caso de incendio y que tengan la suficiente resistencia para soportar los esfuerzos debidos a su peso, al movimiento del aire, a los propios de su manipulación, así como a las vibraciones que pueden producirse como consecuencia de su trabajo.

Las superficies internas serán lisas y no contaminarán el aire que circula por ellas. Soportarán, sin deformarse ni deteriorarse, 250°C de temperatura.

En los conductos en que, por su trabajo, se prevean condensaciones, sus superficies estarán impermeabilizadas. El mismo tratamiento se dará cuando estén destinados a conducir aire con una humedad relativa superior al 75 %.

Los conductos podrán ser de chapa de acero galvanizada, aluminio, cobre o sus aleaciones o acero inoxidable. Se recomienda la adopción de las normas UNE 10.101, UNE100.102 y UNE 100.103 para todo lo referente a dimensiones normalizadas, espesores, tipos, uniones, refuerzos y soporte.

Los conductos de fibra de vidrio podrán emplearse en instalaciones de calefacción o acondicionamiento de aire siempre que se construya de acuerdo con la norma UNE 100.105.

Podrá utilizarse, con aprobación del Director de Obra, conductos de obra civil o de otros materiales, siempre que tenga resistencia y propiedades similares a las de los indicados y cumplan con las condiciones exigidas a los conductos.

Las curvas, en lo posible, tendrán un radio mínimo de curvatura igual a vez y media la dimensión del conducto en la dirección de radio. Cuando esto no sea posible, se colocarán álabes directores. La longitud y forma de los álabes serán las adecuadas para que la velocidad del aire en la curva sea sensiblemente la misma en toda la sección. Como norma, su longitud será igual, por lo menos, a dos veces la distancia entre álabes. Los álabes estarán fijos y no vibrarán el paso del aire.

Salvo casos excepcionales, las piezas de unión entre tramos de distinta forma geométrica tendrán las caras con un ángulo de inclinación, con relación al eje del conducto, no superior a 15°. Este ángulo, en las proximidades de rejillas de salida, se recomienda que no sea superior a 3°.

Las compuertas de tipo mariposa tendrán sus palas unidas rígidamente al vástago de forma que no vibren ni originen ruidos.

El ancho de cada pala de una compuerta en la dimensión perpendicular a su eje de giro no será superior a 30cm. Cuando el conducto tenga una dimensión mayor, se colocarán compuertas múltiples accionadas con un solo mando. En las compuertas múltiples, las hojas adyacentes girarán en sentido contrario para evitar que en su compuerta se formen direcciones de aire privilegiadas, distintas a la del eje del conducto.

Las compuertas tendrán una inclinación exterior que permita conocer su posición abierta o cerrada. Cuando la compuerta requiera un cierre estanco, se dispondrá en sus bordes los elementos necesarios para conseguirlo.

Las compuertas para regulación manual tendrán los dispositivos necesarios para que puedan fijarse en cualquier posición. Cuando las compuertas sean de accionamiento mecánico, sus ejes girarán sobre cojinetes de bronce o antifricción.

Las rejillas de toma de aire exterior serán de un material inoxidable o protegido contra la corrosión y estarán diseñadas para impedir la entrada de gotas de agua de lluvia en el interior de los conductos, siempre que la velocidad del aire a través de los vanos no supere 3m/s. Su construcción será robusta y sus piezas no entrarán en vibración ni producirán ruidos al paso del aire.

Las rejillas o difusores para distribución de aire en los locales serán de un material inoxidable o protegido contra la corrosión. Los fabricantes deberán dar, para distintas presiones antes de rejilla o difusor, los siguientes datos: Dimensión y distribución del dardo y caudal de aire.

### **4.6.4. Aislamiento térmico de los componentes del circuito frigorífico**

El aislamiento térmico de los circuitos de baja temperatura en una instalación frigorífica juega un papel muy importante en cuanto al rendimiento (consumo energético), hermeticidad, funcionamiento y conservación del sistema. A tal efecto los recipientes, intercambiadores o tuberías y accesorios que trabajen a temperatu-

ras relativamente bajas ( $T < 15^{\circ}\text{C}$ ) deberán estar protegidos mediante aislamiento térmico de la absorción de calor y de las condensaciones superficiales no esporádicas.

La calidad del aislamiento vendrá dada principalmente por su coeficiente de conductividad térmica, su baja permeabilidad al vapor de agua, y su resistencia al envejecimiento y la eficacia de la barrera de vapor.

La selección del aislamiento se hará en función de las características del sistema de refrigeración: eficiencia requerida, utilización de la instalación, temperatura de funcionamiento, etc.

El espesor del aislante se determinará teniendo en cuenta:

- La temperatura y humedad relativa (punto de rocío) del aire ambiente en el lugar de emplazamiento.
- La diferencia de temperatura entre la superficie fría a aislar y la normal del aire ambiente.
- La conductividad térmica del material aislante seleccionado.
- La forma y características del componente a aislar (pared plana o diámetro de la tubería).

El aislamiento deberá estar protegido mediante una barrera de vapor, aplicada en la cara exterior (caliente) del aislante, excepto cuando la permeabilidad del aislante sea suficientemente baja como para garantizar una protección equivalente.

Con cualquiera de las soluciones adoptadas se garantizará una resistencia a la difusión del vapor eficaz y continua que impida las condensaciones intersticiales.

En ningún caso el espesor del aislante será inferior al necesario para evitar condensaciones superficiales no esporádicas.

Los materiales aislantes deberán cumplir los requisitos siguientes:

- Tener un coeficiente de conductividad térmica bajo.
- Tener unos factores de resistencia a la absorción y difusión del vapor de agua altos.
- Tener buena resistencia a la inflamabilidad, a la descomposición y al envejecimiento.
- Tener buena resistencia mecánica, especialmente en los puntos de soportación de tuberías.
- No emitir olores ni ser agresivo con los elementos del entorno.
- Mantener sus propiedades a temperaturas entre  $-70$  y  $120^{\circ}\text{C}$ .
- En caso de combustión, no producir gases tóxicos durante la misma.
- Cuando el aislamiento vaya instalado a la intemperie, tendrá una buena resistencia a la misma o estará debidamente protegido.

Se deberá tener presente que tan importante o más que la selección y dimensionado del aislamiento es una correcta instalación del mismo.

Como regla general se deberán seguir escrupulosamente las instrucciones de montaje y aplicación del fabricante.

Antes de colocar el aislamiento, cuando los componentes sean de hierro o acero se deberá aplicar un tratamiento adecuado para prevenir la corrosión. Las zonas o elementos que no deban ir aislados por exigencia del funcionamiento deberán estar especialmente protegidas para evitar los efectos de la corrosión debido a la condensación, por ejemplo, con venda grasa. Será necesario aplicar el aislamiento procurando la mejor distribución y sellado de las juntas, cuando las haya.

Se deberá prestar la máxima atención a la aplicación de la barrera antivapor; especialmente en los puntos conflictivos (soportes, terminales, etc.) donde el sellado es fundamental. En el diseño y construcción de los soportes de las tuberías se prestará especial atención a la contracción y dilatación de las mismas para que estos movimientos no generen daños en la barrera de vapor.

Se deberá tener presente que una barrera de vapor deficiente será, más tarde o temprano, la causa de un deterioro progresivo del aislamiento y si el tratamiento anticorrosión no existiera o fuera insuficiente el elemento aislado sufriría graves daños de corrosión, lo que afectaría a la seguridad de la instalación.

El aislamiento deberá llevar un recubrimiento (protección exterior) bien plástico o metálico. La colocación de este recubrimiento, sobre todo si se utilizan elementos de fijación punzantes, no deberá ocasionar daños en la barrera de vapor.

Si se realizan trabajos en las proximidades de componentes aislantes (tuberías, equipos, etc.) se tendrá el máximo cuidado para no dañar el aislamiento, pisándolo o golpeándolo.

Siempre que sea necesario acceder a algunos puntos de mantenimiento de la instalación frigorífica o de otras instalaciones a través de la red de tuberías aisladas se deberá prever las suficientes zonas de paso para evitar el deterioro del aislamiento. Dichos pasos se montarán a medida que se vaya ejecutando el aislamiento.

## 4.7. Condiciones de recepción de productos

Según se indica en el Código Técnico de la Edificación, en la Parte I, artículo 7.2, el control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas, se realizará según lo siguiente:

### 4.7.1. Control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas

El control de recepción tiene por objeto comprobar que las características técnicas de los productos, equipos y sistemas suministrados satisfacen lo exigido en el proyecto. Este control comprenderá:

- El control de la documentación de los suministros.
- El control mediante distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de idoneidad.
- El control mediante ensayos.

#### Control de la documentación de suministros

Los suministradores entregarán al constructor, quien los facilitará a la dirección facultativa, los documentos de identificación del producto exigidos por la normativa de obligado cumplimiento y, en su caso, por el proyecto o por la dirección facultativa. Esta documentación comprenderá, al menos, los siguientes documentos:

- Los documentos de origen, hoja de suministro y etiquetado.
- El certificado de garantía del fabricante, firmado por persona física.
- Los documentos de conformidad o autorizaciones administrativas exigidas reglamentariamente, incluida la documentación correspondiente al marcado CE de los productos de construcción, cuando sea pertinente, de acuerdo con las disposiciones que sean transposición de las Directivas Europeas que afecten a los productos suministrados.

#### Control de recepción mediante distintivos de calidad y evaluaciones de idoneidad técnica.

El suministrador proporcionará la documentación precisa sobre:

- Los distintivos de calidad que ostenten los productos, equipos o sistemas suministrados, que aseguren las características técnicas de los mismos exigidas en el proyecto y documentará, en su caso, el reconocimiento oficial del distintivo.
- Las evaluaciones técnicas de idoneidad para el uso previsto de productos, equipos y sistemas innovadores, y la constancia del mantenimiento de sus características técnicas.

El director de la ejecución de la obra verificará que esta documentación es suficiente para la aceptación de los productos, equipos y sistemas amparados por ella.

### **Control de recepción mediante ensayos**

Para verificar el cumplimiento de las exigencias básicas del CTE puede ser necesario, en determinados casos, realizar ensayos y pruebas sobre algunos productos, según lo establecido en la reglamentación vigente, o bien según lo especificado en el proyecto u ordenados por la dirección facultativa.

La realización de este control se efectuará de acuerdo con los criterios establecidos en el proyecto o indicados por la dirección facultativa sobre el muestreo del producto, los ensayos a realizar, los criterios de aceptación y rechazo y las acciones a adoptar.

Este Pliego de Condiciones, conforme a lo indicado en el CTE, desarrolla el procedimiento a seguir en la recepción de los productos en función de que estén afectados o no por la Directiva 89/106/CE de Productos de la Construcción (DPC), de 21 de diciembre de 1988, del Consejo de las Comunidades Europeas.

El Real Decreto 1630/1992, de 29 de diciembre, por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE, regula las condiciones que estos productos deben cumplir para poder importarse, comercializarse y utilizarse dentro del territorio español de acuerdo con la mencionada Directiva. Así, dichos productos deben llevar el marcado CE, el cual indica que satisfacen las disposiciones del RD 1630/1992.

### **4.7.2. Productos afectados por la Directiva de Productos de la Construcción**

Los productos de construcción relacionados en la DPC que disponen de norma UNE EN (para productos tradicionales) o Guía DITE (Documento de idoneidad técnica europeo, para productos no tradicionales), y cuya comercialización se encuentra dentro de la fecha de aplicación del marcado CE, serán recibidos en obra según el siguiente procedimiento.

Control de la documentación de los suministros: se verificará la existencia de los documentos establecidos en el apartado anterior, incluida la documentación correspondiente al marcado CE:

- Deberá ostentar el marcado. El símbolo del marcado CE figurará en al menos uno de estos lugares: sobre el producto, o en una etiqueta adherida al producto, o en el embalaje del producto, o en una etiqueta adherida al embalaje del producto, o en la documentación de acompañamiento (por ejemplo, en el albarán o factura).
- Se deberá verificar el cumplimiento de las características técnicas mínimas exigidas por la reglamentación y por el proyecto, lo que se hará mediante la comprobación de éstas en el etiquetado del marcado CE.

- Se comprobará la documentación que debe acompañar al marcado CE, la Declaración CE de conformidad firmada por el fabricante cualquiera que sea el tipo de sistema de evaluación de la conformidad.

Podrá solicitarse al fabricante la siguiente documentación complementaria:

- Ensayo inicial de tipo, emitido por un organismo notificado en productos cuyo sistema de evaluación de la conformidad sea 3.
- Certificado de control de producción en fábrica, emitido por un organismo notificado en productos cuyo sistema de evaluación de la conformidad sea 2 o 2+.
- Certificado CE de conformidad, emitido por un organismo notificado en productos cuyo sistema de evaluación de la conformidad sea 1 o 1+.

En el caso de que alguna especificación de un producto no esté contemplada en las características técnicas del marcado, deberá realizarse complementariamente el control de recepción mediante distintivos de calidad o mediante ensayos, según sea adecuado a la característica en cuestión.

### 4.7.3. Productos no afectados por la Directiva de Productos de la Construcción

Si el producto no está afectado por la DPC, el procedimiento a seguir para su recepción en obra (excepto en el caso de productos provenientes de países de la UE que posean un certificado de equivalencia emitido por la Administración General del Estado) consiste en la verificación del cumplimiento de las características técnicas mínimas exigidas por la reglamentación y el proyecto mediante los controles previstos en el CTE, a saber:

- Control de la documentación de los suministros: se verificará en obra que el producto suministrado viene acompañado de los documentos establecidos y los documentos de conformidad o autorizaciones administrativas exigidas reglamentariamente, entre los que cabe citar:

Certificado de conformidad a requisitos reglamentarios (antiguo certificado de homologación) emitido por un Laboratorio de Ensayo acreditado por ENAC (de acuerdo con las especificaciones del RD 2200/1995) para los productos afectados por disposiciones reglamentarias vigentes del Ministerio de Industria.

Autorización de Uso de los forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado, y viguetas o elementos resistentes armados o pretensados de hormigón, o de cerámica y hormigón que se utilizan para la fabricación de elementos resistentes para pisos y cubiertas para la edificación concedida por la Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda del Ministerio de Vivienda.

En determinados casos particulares, certificado del fabricante, como en el caso de material eléctrico de iluminación que acredite la potencia total del equipo

(CTE DB HE) o que acredite la succión en fábricas con categoría de ejecución A, si este valor no viene especificado en la declaración de conformidad del marcado CE (CTE DB SE F).

- Control de recepción mediante distintivos de calidad y evaluaciones de idoneidad técnica: Sello o Marca de conformidad a norma emitido por una entidad de certificación acreditada por ENAC (Entidad Nacional de Acreditación) de acuerdo con las especificaciones del RD 2200/1995.

Evaluación técnica de idoneidad del producto en el que se reflejen las propiedades del mismo. Las entidades españolas autorizadas actualmente son: el Instituto de Ciencias de la Construcción “Eduardo Torroja” (IETcc), que emite el Documento de Idoneidad Técnica (DIT), y el Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITeC), que emite el Documento de Adecuación al Uso (DAU).

- Control de recepción mediante ensayos: Certificado de ensayo de una muestra del producto realizado por un Laboratorio de Ensayo acreditado por una Comunidad Autónoma o por ENAC.



## 4.8. Marcado y documentación

Los sistemas de refrigeración y sus componentes principales deberán ser identificados mediante marcado (marcado CE cuando proceda, placa de identificación, etiquetas codificadas, etc.) tal y como se establece en esta instrucción. Este marcado deberá estar siempre visible. En los sistemas de refrigeración cerrados, terminados en fábrica y con una carga de refrigerante limitada, no es necesario que el condensador y evaporador estén marcados, salvo en el caso que contengan refrigerantes fluorados.

Los dispositivos de corte y los principales dispositivos de mando y control deberán estar claramente etiquetados si no resulta obvia su función.

Se deberá colocar una placa de identificación bien legible cerca de o en el sistema de refrigeración.

La placa de identificación deberá contener al menos los siguientes datos:

- Nombre y dirección de la empresa frigorista que haya realizado la instalación.
- Modelo y número de serie, o número de fabricación, o número de registro, según corresponda.
- Año de construcción.
- Fecha (año y mes) de la próxima inspección periódica.
- Denominación simbólica alfanumérica del refrigerante de acuerdo a la normativa.
- Carga aproximada del refrigerante en kg.
- Presión máxima admisible, en los sectores de alta y de baja presión, en bar.
- Marcado CE cuando proceda.

La placa de identificación también deberá contener, en su caso, detalles de los datos eléctricos tales como los requeridos en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, aprobado por el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto.

En los casos en los que el refrigerante sea un gas fluorado de efecto invernadero se deberá identificar la denominación química de dicho fluido mediante la etiqueta establecida a nivel europeo, utilizándose la nomenclatura industrial aceptada. Dicha etiqueta indicará claramente que el sistema contiene un gas fluorado de efecto invernadero de los regulados por el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, así como su cantidad, indicación que figurará de manera clara e indeleble sobre el sistema, junto a los puntos de servicio para recarga o recuperación de los refrigerantes fluorados de efecto invernadero, o en la parte del sistema que contenga el gas fluorado de efecto invernadero. Los sistemas sellados herméticamente se etiquetarán como tales.

Los compresores de refrigeración se deberán marcar de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.

Las bombas de refrigerante líquido deberán estar provistas como mínimo de la siguiente información sobre soporte fijo y con escritura indeleble: fabricante, designación de tipo, número de serie, año de fabricación, presión de diseño o presión máxima admisible.

Las tuberías de los diferentes fluidos montadas e instaladas in situ deberán ser identificadas mediante marcado con etiquetas codificadas conforme con la reglamentación.

Cuando la seguridad de personas o bienes pueda verse afectada por el escape del contenido de las tuberías, se pondrán etiquetas que identifiquen este contenido cerca de las válvulas de corte del sector y allí donde las tuberías atraviesen paredes.

Los principales dispositivos de corte, mando y control del circuito del refrigerante y fluidos auxiliares (gas, aire, agua, electricidad) se deberán marcar claramente de acuerdo con su función.

Se podrán utilizar símbolos para identificar estos dispositivos, siempre que se sitúe una clave de símbolos cerca de los mismos.

Se marcarán, de forma indeleble (mediante etiquetas, marcas metálicas, adhesivos, etc.) los dispositivos que únicamente deban ser manipulados por personas acreditadas.

Los equipos a presión se deberán marcar de acuerdo con el Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo, o con el Real Decreto 1495/1991, de 11 de octubre.

### 4.8.1. Documentación

Se deberán registrar en soporte papel o informático los resultados de los ensayos y pruebas.

El fabricante de los componentes entregará con la mercancía los certificados del material de los productos adquiridos por la empresa frigorista, de manera que esta última pueda comprobar que los materiales empleados cumplen con las especificaciones requeridas por el reglamento aplicable en cada caso, y su trazabilidad en todo el proceso productivo.

Normalmente se proporcionarán certificados del material, por ejemplo, tipo 3.1. B según la Norma UNE EN 10204. No se aceptará ningún material sin el certificado correspondiente.

Cualquier certificado que se requiera, se deberá preparar y suscribir por la persona competente que llevó a cabo la inspección, ensayo o comprobación.

La empresa frigorista deberá proporcionar al titular el certificado de la instalación (modelo incluido en el libro de registro de la instalación) confirmando que el sistema ha sido instalado de acuerdo con los requisitos de diseño e indicando el valor de ajuste de los dispositivos de seguridad y control establecidos en la puesta en marcha.

Las instrucciones de manejo deberán proporcionarse por la empresa frigorista, facilitando las indicaciones de funcionamiento del sistema de refrigeración e incluyendo las precauciones a adoptar en caso de avería o de fugas. Estas instrucciones e indicaciones se redactarán en todo caso en español y podrán estar repetidas en otros idiomas acordados entre la empresa frigorista y el titular de la instalación.

El manual de instrucciones incluirá, como mínimo y si procede, la siguiente información:

- Finalidad del sistema.
- Descripción general de la instalación, de las máquinas y equipos, indicando el nombre de la empresa frigorista responsable de la instalación, dirección y teléfono, así como el año de su puesta en marcha.
- Descripción y detalles de funcionamiento del sistema completo (incluyendo componentes), con un diagrama esquemático del sistema de refrigeración y un esquema del circuito eléctrico.
- Instrucciones concernientes a la puesta en marcha, parada y situación de reposo del sistema y de las partes que lo componen.
- Programa de mantenimiento y revisión, así como control de fugas de refrigerantes que debe realizarse, especificando el personal competente y procedimiento a seguir.
- Causas de los defectos más comunes y medidas a adoptar y la necesidad de recurrir a técnicos de mantenimiento competentes en el caso de fugas o averías.
- Indicación sobre la incidencia ambiental del sistema y su consumo energético, así como buenas prácticas para minimizar y controlar dicho consumo, mediante el análisis de los parámetros COP, capacidad frigorífica y rendimiento del compresor/compresores.
- En el caso de los refrigerantes fluorados se incluirá información sobre los mismos incluido su potencial de calentamiento atmosférico, especificándose la obligatoriedad de su recuperación por profesional competente e incluyéndose instrucciones de recuperación y tratamiento ambiental.
- Precauciones a adoptar para evitar la congelación del agua en los condensadores, enfriadores, etc. en caso de bajas temperaturas ambientales o como consecuencia de la reducción normal de la presión/temperatura del sistema.
- Precauciones a adoptar cuando se trasladen sistemas o partes de los mismos.
- Instrucciones detalladas relativas a la eliminación de los fluidos de trabajo y componentes, así como sobre gestión de residuos y desmantelamiento de la instalación al final de su vida útil.
- La información expuesta en el cartel de seguridad del sistema, si es necesario, en su totalidad.
- Referencia a las medidas de protección, primeros auxilios y procedimientos a seguir en caso de emergencia, por ejemplo, fugas, incendio, explosión.

En el caso de instalaciones con potencia en compresores mayor de 10 kW deberá, además, contener:

- Instrucciones de mantenimiento del sistema completo, con el programa adecuado para el mantenimiento preventivo y las revisiones del control de fugas y anomalías a realizar.

- Instrucciones relativas a la carga, vaciado y sustitución del refrigerante.
- Instrucciones relativas a la manipulación del refrigerante y a los riesgos asociados con dicha operación.
- Necesidad de la comprobación periódica del alumbrado de emergencia, incluyendo la iluminación portátil.
- Instrucciones relativas a la función y mantenimiento de los equipos de seguridad, protección y primeros auxilios, dispositivos de alarma e indicadores luminosos.
- Indicadores para la configuración del libro de registro.
- Los certificados requeridos.

Las partes interesadas deberán describir los procedimientos de emergencia a seguir en caso de perturbaciones y accidentes de cualquier naturaleza.

En la proximidad del lugar de operación del sistema de refrigeración se colocará un cartel bien legible y adecuadamente protegido.

En caso de sistemas partidos o multipartidos, el lugar de operación podrá considerarse aquel donde esté instalada la unidad exterior.

Si en la misma sala de máquinas o planta existen varios sistemas de refrigeración independientes, se colocará un cartel por sistema, o bien un cartel que refleje los datos de cada sistema.

Este cartel contendrá como mínimo la siguiente información:

- Nombre, dirección y teléfono de la empresa instaladora, el de la empresa de mantenimiento y en cualquier caso, de la persona responsable del sistema de refrigeración, así como las direcciones y números de teléfono de los bomberos, policía, hospitales y centros de quemados más cercanos y teléfono de emergencias (112).
- Carga en kg y tipo de refrigerante utilizado en el sistema de refrigeración, con indicación de su fórmula química y su número de designación.
- Instrucciones para desconectar el sistema de refrigeración en caso de emergencia.
- Presiones máximas admisibles.
- Detalles de inflamabilidad del refrigerante utilizado, cuando éste sea inflamable.

En un sitio visible de la sala de máquinas se colocará un diagrama de las tuberías del sistema de refrigeración, mostrando los símbolos de los dispositivos de corte, mando y control.

El titular conservará a disposición de la administración competente el libro de registro del sistema de refrigeración que deberá estar debidamente puesto al día por la empresa frigorista responsable del mantenimiento de la instalación.

En el libro de registro de la instalación frigorífica se deberá anotar la siguiente información:

- Nombre del titular de la instalación, dirección postal y número de teléfono.
- Ubicación y destino de la instalación.
- Fecha de la puesta en marcha.
- Empresa frigorista que ha realizado la instalación, con número de registro y categoría, dirección postal y número de teléfono.
- Empresa frigorista contratada para efectuar el mantenimiento con su número de registro, dirección postal y número de teléfono.
- Modificaciones, sustituciones de componentes y ampliaciones del sistema a partir de la primera puesta en servicio, si procede.
- Resultado de las pruebas periódicas de rutina.
- Detalles de cualquier trabajo de mantenimiento o reparación especificando la identificación de la empresa o del técnico que llevó a cabo el mantenimiento o la reparación.
- Tipo, clase (nuevo, reutilizado o reciclado) y cantidad de refrigerante en kgs. que ha sido cargado (véase también el apartado 6.6. de la Norma UNE EN 378-4) y cantidades recuperadas durante el mantenimiento, la reparación y la eliminación definitiva, especificando el técnico competente y el destino del refrigerante recuperado.
- Lubricante utilizado y contenido en litros.
- Períodos prolongados de parada.
- Siempre que se produzca un escape o avería sin escape, se detallará el punto exacto donde se ha producido (con pintura roja), especificando su situación sobre el esquema y la causa. Se anotará también el tiempo que se ha tardado en reparar la avería y en caso de haberse producido un escape de gas, se indicará la cantidad perdida y la recarga y en ambos casos se detallarán las medidas adoptadas para que el incidente no se repita.
- Resultados de los controles de fugas, especificando fecha, resultados, zona y causa de fuga, si la hubiera, así como la identificación del profesional acreditado que haya realizado la revisión.

El libro contendrá en su parte inicial, junto con las instrucciones que se consideren necesarias, claramente especificado que el control posible de escapes de refrigerante de la instalación deberá ser efectuado a partir de carga superior a 3 kg.

En el libro, cada anotación ocupará una página o páginas completas, señalando con una línea oblicua la parte no utilizada. Al pie de cada página (únicamente una operación por página) figurará la fecha, la firma del titular y el número de la empresa frigorista y la firma del gerente de la misma. También figurarán los nombres de las empresas gestoras de residuos que hayan realizado las operaciones de reciclado, regeneración o destrucción.

## 4.9. Prescripciones generales de las instalaciones

Las instalaciones se realizarán teniendo en cuenta la práctica normal conducente a obtener un buen funcionamiento durante el periodo de vida que se les puede atribuir, siguiendo en general las instrucciones de los fabricantes de la maquinaria. La instalación será especialmente cuidada en aquellas zonas en que, una vez montados los aparatos, sea de difícil reparación cualquier error cometido en el montaje, o en las zonas en que las reparaciones obligasen a realizar trabajos de albañilería.

El montaje de la instalación se ajustará a los planos y condiciones del proyecto. Cuando en la obra sea necesario hacer modificaciones en esos planos o condiciones se solicitará el permiso del director de obra. Igualmente, la sustitución por otros de los aparatos indicados en el proyecto y oferta deberá ser aprobada por el director de la obra.

Durante la instalación, el instalador protegerá debidamente todos los aparatos y accesorios, colocando tapones o cubiertas en las tuberías que vayan a quedar abiertas durante algún tiempo. Una vez terminado el montaje se procederá a una limpieza general de todo el equipo, tanto exterior como interiormente.

Los envoltentes metálicos o protecciones se asegurarán firmemente pero al mismo tiempo serán fácilmente desmontables. Su construcción y sujeción será tal que no se produzcan vibraciones o ruidos molestos.

En la sala de máquinas se instalará un gráfico, fácilmente visible, en el que esquemáticamente se presente la instalación con indicación de las válvulas, manómetros, etc.. Cada aparato de maniobra o de control llevará una placa metálica para ser identificado fácilmente en el esquema mencionado. Se recomienda que los aparatos de medida lleven indicados los valores entre los que normalmente se han de mover los valores por ellos medidos.

Todas las partes del circuito del refrigerante se deberán diseñar y construir para mantener la estanqueidad y soportar la presión que pueda producirse durante el funcionamiento, reposo y transporte teniendo en cuenta las tensiones térmicas, físicas y químicas que puedan preverse.

La presión máxima admisible se deberá determinar teniendo en cuenta factores tales como:

- Temperatura ambiente.
- Sistema de condensación (por aire, agua, etc.).
- Insolación o radiación solar con el sistema parado (en el caso de instalaciones situadas total o parcialmente en el exterior, por ejemplo, pistas de hielo).
- Método de desescarche.
- Tipo de aplicación (refrigeración o bomba de calor).
- Márgenes de operación, entre la presión normal de trabajo y los dispositivos de protección (controles eléctricos, válvulas de seguridad, etc.). Estos márgenes deberán tener en cuenta los posibles incrementos de presión debidos a: ensuciamiento de los intercambiadores de calor, acumulación de gases no condensables y condiciones locales muy extremas.

Cuando los evaporadores puedan estar sometidos a altas presiones, como por ejemplo: durante el desescarche por gas u operación en ciclo inverso, se deberá utilizar la temperatura especificada para el sector de alta presión.

El sistema podrá dividirse en varias partes (por ejemplo: sectores de alta y baja presión), y para cada una de ellas existirá una presión máxima admisible diferente.

La presión a la que el sistema (o parte del sistema) trabaje normalmente será menor que la presión máxima admisible. Se deberá prever que las pulsaciones de gas pueden producir sobrepresiones.

Los soportes y apoyos para equipos a presión deberán diseñarse y situarse para soportar las cargas estáticas y dinámicas que se produzcan.

### **Tuberías y conexiones**

Todas las tuberías del circuito del refrigerante deberán cumplir con las normas aplicables especificadas en la solicitud de evaluación de conformidad cuando sea preceptivo y se diseñarán, construirán e instalarán para mantener la estanquidad y resistir las presiones y temperaturas que puedan producirse durante el funcionamiento, las paradas y el transporte, teniendo en cuenta los esfuerzos térmicos, físicos y químicos que se prevean.

Los materiales, espesor de la pared, resistencia a la tracción, ductilidad, resistencia a la corrosión, procedimientos de conformado y pruebas serán adecuados para el refrigerante utilizado y resistirán las presiones y esfuerzos que puedan producirse.

Las tuberías en los sistemas de refrigeración se deberán diseñar e instalar de tal forma que el golpe de ariete (choque hidráulico) no pueda dañar al sistema.

Los dispositivos de protección, tuberías y accesorios se deberán proteger lo máximo posible contra los efectos adversos medioambientales. Se considerarán efectos adversos medioambientales, por ejemplo, el peligro de acumulación de agua y la congelación de las tuberías de descarga o la acumulación de suciedad o sedimentos.

Las uniones deberán diseñarse de forma que no sean dañadas por la congelación de agua en su exterior. Serán las adecuadas para la tubería, su material, presión, temperatura y fluido.

Las tuberías con diferentes diámetros sólo se conectarán utilizando accesorios de reducción de diámetro normalizados.

Los acoplamientos de cierre rápido se utilizarán solamente para la interconexión de las partes en sistemas semicompactos.

Si no hay razones técnicas que lo justifiquen, las uniones deberán ser soldadas.

Serán preferibles uniones embridadas a uniones abocardadas, roscadas o de compresión, especialmente cuando se puedan producir vibraciones.

Se evitarán los acoplamientos de cierre rápido y en las tuberías aisladas la posición de las uniones desmontables estará permanentemente marcada.

En uniones no desmontables se deberán utilizar soldaduras fuertes o blandas. Durante la ejecución de cualquier soldadura fuerte o blanda se evitarán las impurezas causadas por la formación de óxido, por ejemplo, utilizando gas inerte o eliminándolas. Podrán usarse otras uniones no desmontables, siempre que su idoneidad haya sido probada.

La soldadura deberá cumplir con la norma europea correspondiente. Cuando se seleccione el procedimiento de soldadura se considerarán las temperaturas de



operación del sistema, materiales a unir y composición del material de aporte. Los accesorios, para soldadura a tope, serán compatibles con el material de la tubería.

Las tuberías revestidas (por ejemplo: galvanizadas) no se soldarán hasta que todo el recubrimiento haya sido eliminado completamente del área de unión. Las uniones soldadas deberán estar convenientemente protegidas. Los soldadores estarán acreditados para la realización del trabajo de acuerdo con la Norma UNE EN 287-1.

La soldadura blanda no será utilizada en las uniones de tuberías, en su ensamblaje o donde se incorporen accesorios a las mismas. Para estos casos será preferible la soldadura fuerte.

La compatibilidad de todos los materiales, incluidos el material de aporte y el fundente, con el refrigerante será determinado minuciosamente mediante ensayo. Deberá tenerse en cuenta la posibilidad de corrosión. No se utilizará la soldadura fuerte en el caso de tuberías de amoníaco, a menos que haya sido probado que el material es compatible. La soldadura fuerte sólo se efectuará por soldador acreditado en este campo.

Las uniones embridadas se deberán disponer de tal forma que las partes conectadas puedan desmontarse con una mínima deformación de la tubería. Se utilizarán bridas normalizadas para las tuberías de acero y bridas locas normalizadas con cuello prolongado para soldar en el caso de tuberías de cobre.

No se deberán utilizar las uniones abocardadas para la conexión de válvulas de expansión. Se evitarán las uniones abocardadas donde sea razonablemente posible. Se deberá limitar el uso de uniones abocardadas a tuberías recocidas cuyo diámetro exterior sea inferior o igual a 19 mm y no se utilizará con tuberías de cobre y aluminio de diámetro exterior menor de 9 mm. Cuando se realicen uniones abocardadas, deberán tomarse precauciones para asegurar que el abocardado es del tamaño correcto y que el par utilizado para apretar la tuerca no es excesivo. Es importante que las superficies roscadas y de deslizamiento sean lubricadas antes de su unión con aceite compatible con el refrigerante. No deberán ser abocardadas las tuberías cuyo material haya sido endurecido por manipulación en frío. Las uniones a compresión roscadas serán una alternativa preferible a las uniones abocardadas.

Las uniones cónicas roscadas sólo se deberán utilizar para conectar dispositivos de medida y control. Las uniones cónicas roscadas serán de construcción sólida y suficientemente probada. No deberán utilizarse materiales de relleno y sellos en las roscas que no estén debidamente probados.

El trazado y soporte de las tuberías tienen un importante efecto en la fiabilidad del funcionamiento y mantenimiento del sistema de refrigeración, por consiguiente deberá tenerse en cuenta la disposición física, en particular la posición de cada tubería, las condiciones de flujo (flujo en dos fases, retorno de aceite funcionando a carga parcial), condensaciones, dilatación térmica, vibraciones y buena accesibilidad.

Se deberán tomar precauciones para evitar pulsaciones o vibraciones excesivas. Se pondrá especial atención en prevenir la transmisión directa de ruidos y vibraciones a través de la estructura soporte.

Las conducciones estarán identificadas mediante colores normalizados según la Norma UNE 100100, con indicación del sentido del flujo que circula por ellas.

Las tuberías de los sistemas de refrigeración se deberán diseñar e instalar de tal forma que el sistema no sufra daños si se produce un golpe de ariete (choque hidráulico). Los golpes de ariete originados por una repentina desaceleración del



líquido refrigerante en la tubería con la consiguiente onda de choque se pueden prevenir, por ejemplo, mediante:

- Montaje de la válvula solenoide tan próxima como sea posible a la válvula de expansión.
- Montaje de la válvula solenoide en la línea de vapor recalentado (gas caliente) para desescarche, tan próxima como sea posible al evaporador.
- Prellenado de la tubería mediante una línea de derivación (by-pass) sobre la válvula solenoide principal.
- Instalación de una válvula de acción lenta.

El espacio libre alrededor de la tubería deberá ser suficiente para permitir los trabajos rutinarios de mantenimiento de los componentes, verificación de uniones de las tuberías y reparación de fugas. Las tuberías situadas en el exterior de cerramientos o salas de máquinas específicas deberán estar protegidas de posibles daños accidentales.

Las tuberías y componentes de acero se protegerán adecuadamente contra la corrosión con un recubrimiento resistente a la misma. Dicha protección se aplicará antes de colocar el aislamiento.

Atendiendo a criterios de seguridad y protección medioambiental, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones para el recorrido de las tuberías:

- No representarán un peligro para las personas, es decir, no se obstruirán los pasos libres de las vías de acceso y salidas de emergencia donde se utilicen refrigerantes del grupo L2 o L3.
- Las uniones y válvulas no deberán estar en lugares accesibles para el personal no autorizado.
- Las tuberías se protegerán contra calentamientos externos mediante una separación adecuada respecto de las tuberías calientes o fuentes de calor.
- Los recorridos de las tuberías se diseñarán de tal forma que se minimice la carga de refrigerante y las pérdidas de presión.

Donde las tuberías de refrigerante compartan una canalización con otros servicios, se deberán adoptar medidas para evitar daños debidos a la interacción entre ellas.

No habrá tuberías de refrigerante en galerías de ventilación o de aire acondicionado cuando estos se utilicen, también, como salidas de emergencia.

Las tuberías no estarán localizadas en huecos de ascensores, montacargas u otros huecos que contengan objetos en movimiento.

Las galerías o falsos techos deberán ser desmontables o tener una altura mínima de 1m, en el punto de paso de tubos, y una amplitud suficiente para permitir el montaje, verificación o reparación de los tubos con las debidas condiciones de eficacia y seguridad.

Las tuberías con uniones desmontables no deberán situarse en vestíbulos, pasillos, escaleras, rellanos, entradas, salidas o en cualquier conducto o hueco que tengan aperturas no protegidas a estos locales.

Una excepción serán las tuberías que no tengan uniones desmontables, sin válvulas o controles y que estén protegidas contra daños accidentales. Estas tuberías, en vestíbulos, escaleras o pasillos, se instalarán a no menos de 2,2 m por encima del suelo.

Como regla general, las tuberías se deberán instalar de forma que estén protegidas contra daños derivados de cualquier actividad.

### **Válvulas y dispositivos de seguridad**

Las válvulas utilizadas en los sistemas de refrigeración deberán cumplir los requisitos de la Norma UNE EN 12284.

Los sistemas de refrigeración se deberán equipar con suficientes válvulas de corte a fin de minimizar riesgos y pérdidas de refrigerante, particularmente durante la reparación y/o mantenimiento.

Las válvulas manuales que deban accionarse frecuentemente durante condiciones normales de funcionamiento deberán estar provistas de un volante o palanca de maniobra. Las válvulas de aislamiento de los equipos a presión y automatismos deberán ser accesibles en todo momento. Todos los recipientes que contengan, en funcionamiento normal, refrigerante en estado líquido, deberán disponer de válvulas de cierre en todas las conexiones que partan o lleguen a los mismos, de forma que puedan independizarse del resto del sistema. En las instalaciones con refrigerantes halogenados o con CO<sub>2</sub> se utilizarán siempre válvulas con caperuza, salvo operación manual frecuente. En instalaciones con amoníaco, poner volante o caperuza será decisión opcional del instalador.

Las válvulas que no deban manipularse mientras el sistema se encuentre funcionando deberán diseñarse de forma que se evite su accionamiento por personas no autorizadas; esto podrá conseguirse, por ejemplo, mediante caperuzas, manguitos, cerraduras, que puedan manipularse por personas autorizadas y solo con las herramientas apropiadas. En el caso de válvulas de emergencia, la herramienta se encontrará situada cerca y protegida contra usos indebidos.

Las válvulas se construirán de acuerdo con los requisitos para bloqueo según se especifica en la Norma UNE-EN-12284.

Si no es posible apretar o cambiar la(s) empaquetadura(s) o junta(s) mientras la válvula está sometida a presión, deberá ser factible independizar la válvula del sistema.

Las válvulas que se utilizan para el corte deberán evitar, cuando se cierren, la circulación de fluido en cualquier dirección.

Las válvulas con caperuza se deberán diseñar de forma tal que cualquier presión de refrigerante que pudiera estar presente bajo la caperuza sea ventilada rápidamente tan pronto se comience a desmontar ésta.

Las válvulas automáticas de cierre rápido se deberán instalar donde quiera que exista riesgo de escape de refrigerante, como por ejemplo: en los puntos de drenaje del aceite y niveles de líquido con cristal.

Las instalaciones que empleen refrigerantes fluorados deberán contar con sistemas de detección de fugas en cada sistema frigorífico de carga igual o superior a 300 kg. que deberán alertar al titular de la instalación y, en su caso, a la empresa mantenedora en el momento en que detecte una fuga. Dichas alarmas y la acción adoptada deberán consignarse en el cuadro de controles periódicos de fugas del libro de registro de la instalación frigorífica.

### **Indicadores de nivel de líquido**

Los indicadores de nivel de líquido deberán cumplir con la Norma UNE EN 12178.

Los recipientes acumuladores de refrigerante en sistemas que contengan más de: 100kg de refrigerante del grupo L1; 25kg de refrigerante del grupo L2 y 2,5kg de refrigerante del grupo L3 y que puedan ser aislados del sistema deberán estar provistos de un indicador de nivel que, como mínimo, permita verificar el nivel máximo admisible.

No están permitidos indicadores de nivel de líquido contruidos con tubo de vidrio (véase Norma UNE EN 12178).

## 4.10. Ensayos, pruebas y revisiones previos a la puesta en servicio

Antes de la puesta en servicio de un sistema de refrigeración todos sus componentes o el conjunto de la instalación deberán someterse a los siguientes ensayos:

- Ensayo de resistencia a la presión.
- Ensayo de estanquidad.
- Ensayo funcional de todos los dispositivos de seguridad.
- Ensayo de conformidad del conjunto de la instalación.

Durante los ensayos, las conexiones y uniones deberán ser accesibles para su comprobación. Después de las pruebas de presión y estanquidad y antes de la primera puesta en servicio de la instalación deberá procederse a realizar un ensayo funcional de todos los circuitos de seguridad. Los resultados de estos ensayos deberán ser registrados.

### Ensayo de presión en las tuberías de los sistemas de refrigeración

Todos los componentes deberán ser sometidos a una prueba de resistencia, bien antes de salir de fábrica o en su defecto en el lugar de emplazamiento. Los indicadores de presión y dispositivos de control podrán ser probados a presiones inferiores, pero no por debajo de 1,1 veces la presión máxima admisible.

El ensayo de resistencia a la presión deberá ser de tipo hidráulico utilizando agua u otro líquido no peligroso adecuado, excepto cuando por razones técnicas, el componente no deba probarse con líquido; en tal caso podrá utilizarse para el ensayo un gas que no sea peligroso y sea compatible con el refrigerante y los materiales del sistema. No se permite el empleo de refrigerantes fluorados en este tipo de ensayos.

Como resultado de estas pruebas no deberán generarse deformaciones permanentes, excepto que la deformación por presión sea necesaria para la fabricación de los componentes, por ejemplo durante la expansión y soldadura de un evaporador multitubular. En este caso se considerará necesario que el componente esté calculado para resistir, sin rotura, una presión como mínimo tres veces la de diseño del mismo.

Las juntas sometidas a la prueba deberán estar perfectamente visibles y accesibles, así como libres de óxido, suciedad, aceite, u otros materiales extraños. Las juntas solamente podrán ser pintadas y aisladas o cubiertas una vez probadas.

El sistema deberá ser inspeccionado visualmente antes de aplicar la presión para comprobar que todos los elementos están conectados entre sí de forma estanca. Todos los componentes no sujetos a la prueba de presión deberán ser desconectados o aislados mediante válvulas, bridas ciegas, tapones o cualquier otro medio adecuado.

Deberá realizarse una prueba previa a una presión de 1,5 bar antes de otras pruebas con objeto de localizar y corregir fugas importantes.

La temperatura de las tuberías durante la prueba deberá mantenerse por encima de la temperatura de transición dúctil-frágil.

Se tomarán todas las precauciones adecuadas para proteger al personal contra el riesgo de rotura de los componentes del sistema durante la prueba neumática.

Los medios utilizados para suministrar la presión de prueba deberán disponer o bien de un dispositivo limitador de presión o de un dispositivo de reducción de presión y de un dispositivo de alivio de presión y un manómetro en la salida. El dispositivo de alivio de presión deberá ser ajustado a una presión superior a la presión de prueba, pero lo suficientemente baja para prevenir deformaciones permanentes en los componentes del sistema.

La presión en el sistema deberá ser incrementada gradualmente hasta un 50 % de la presión de prueba, y posteriormente por escalones de aproximadamente un décimo de la presión de prueba hasta alcanzar el 100 % de ésta. La presión de prueba deberá mantenerse en el valor requerido durante al menos 30 minutos. Después deberá reducirse hasta la presión de prueba de estanqueidad.

Las juntas mecánicas en las que se hayan insertado bridas ciegas o tapones para cerrar el sistema o para facilitar el desmontaje de componentes durante la prueba no precisarán ser probadas a presión después de desmontar la brida ciega o tapón, a condición de que posteriormente pasen una prueba de estanqueidad.

La prueba podrá realizarse por partes aislables del sistema a medida que su montaje se vaya terminando.

Todas las uniones que presenten fugas deberán ser reparadas. Las uniones por soldadura fuerte que presenten fugas deberán ser rehechas, y no se podrán reparar utilizando soldadura blanda. Las uniones por soldadura blanda podrán ser reparadas limpiando la zona defectuosa y volviendo a preparar la superficie y soldar. Los sectores de las uniones soldadas que se hayan detectado como defectuosos durante la realización de los ensayos no destructivos, deberán sanearse y soldarse de nuevo. Las uniones reparadas se deberán probar nuevamente.

### **Prueba de estanqueidad**

El sistema de refrigeración deberá ser sometido a una prueba de estanqueidad bien como conjunto o por sectores. La prueba de estanqueidad podrá realizarse antes de salir el equipo de fábrica, si el montaje se realiza en ésta, o bien in situ, si el montaje o la carga de refrigerante se hace en el lugar de emplazamiento.

Para los sistemas compactos, semicompactos y de absorción herméticos, esta prueba de estanqueidad se efectuará en fábrica.

Para la prueba de estanqueidad se utilizarán varias técnicas dependiendo de las condiciones de producción, por ejemplo, gas inerte a presión, vacío, gases trazadores, etc. El método utilizado será supervisado por el instalador frigorista.

Cuando se añaden sustancias trazadoras al gas inerte, éstas no deberán ser ni peligrosas ni perjudiciales para el medio ambiente. En ningún caso podrán ser empleadas sustancias organohalogenadas.

Las pruebas de presión que se realicen en obra así como las pruebas de estanqueidad realizadas, tanto en los equipos construidos en fábrica como en las instalaciones frigoríficas realizadas “in situ”, se llevarán a cabo por empresa frigorista y cuando se trate de tuberías pertenecientes a las categorías I, II y III, establecidas según el artículo 3 del Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo, que dicta disposiciones de

aplicación de la Directiva 97/23/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a equipos a presión, se emitirá el preceptivo certificado de conformidad del equipo.

Todas estas pruebas se realizarán bajo la responsabilidad de la empresa frigorista y, en su caso, del técnico competente director de la obra de la instalación frigorífica, quienes una vez realizadas satisfactoriamente, extenderán el correspondiente certificado.

### **Procedimiento de vacío**

Las operaciones de extracción de la humedad mediante vacío no podrán utilizarse para comprobar la estanqueidad del circuito frigorífico.

Queda prohibido el empleo de refrigerantes fluorados en fase gaseosa para extraer la humedad. Para tal fin el fluido utilizado será el nitrógeno seco exento de oxígeno.

### **Control del conjunto de la instalación antes de su puesta en marcha**

Antes de poner en funcionamiento un sistema de refrigeración se deberá comprobar el mismo en su totalidad. Se verificará que la instalación está de acuerdo con los planos constructivos, los diagramas de flujo, tuberías e instrumentación, control y esquemas eléctricos.

El control de los sistemas de refrigeración por empresa frigorista deberá incluir los siguientes puntos:

- Comprobación de la documentación de los equipos a presión.
- Comprobación del equipo de seguridad.
- Comprobación de que las soldaduras de las tuberías son conformes con los procedimientos aprobados.
- Comprobación de las tuberías.
- Verificación del acta de la prueba de estanqueidad del sistema de refrigeración.
- Verificación visual del sistema de refrigeración.

Ningún sistema de refrigeración deberá ser puesto en funcionamiento si no está debidamente documentado. La documentación deberá comprobarse con el fin de asegurar que los equipos a presión del sistema de refrigeración cumplen con los requisitos, códigos de diseño y otras normativas reguladoras apropiadas de la legislación existente.

Se comprobará que los dispositivos de seguridad requeridos para el sistema de refrigeración están instalados y se encuentran en condiciones de funcionamiento, y que se ha elegido la presión de tarado adecuada para garantizar la seguridad del sistema.

Se deberá comprobar que los dispositivos de seguridad cumplen con las normas correspondientes y que han sido probados y certificados por el fabricante. Esto no implicará que cada dispositivo deba tener un certificado propio.

Se deberá comprobar, donde corresponda, que los dispositivos de seguridad para limitar la presión funcionan y están montados correctamente.

Las válvulas de seguridad con descarga al exterior se deberán comprobar para asegurar que se ha marcado la presión de tarado correcta en su cuerpo o la que se especifica en la placa de características.

Deberá comprobarse el correcto marcado de la presión nominal de rotura de los discos (excluidos los discos internos).

Deberá comprobarse el marcado correcto de la temperatura de fusión de los tapones fusibles.

Deberá comprobarse que la tubería del sistema de refrigeración ha sido instalada de acuerdo con los planos, especificaciones y normas que sean de aplicación.

Se deberá llevar a cabo una comprobación visual de la instalación completa de acuerdo con los anexos normativos A y B de la Norma UNE EN 378-2.

### **Carga de refrigerante**

La carga del refrigerante se realizará de la siguiente forma:

- Para equipos de compresión de más de 3kg. de carga de refrigerante y refrigerantes azeotrópicos, el fluido deberá ser introducido en el circuito a través del sector de baja presión en fase vapor.
- Para refrigerantes zeotrópicos, la carga se realizará en fase líquida y deberá efectuarse de modo que el fluido se expanda en el dispositivo que incorporan los evaporadores, de esta forma se evitará que pueda llegar líquido a los compresores. Para ello se dispondrá de una toma de carga con válvula y una válvula de cierre aguas arriba de la tubería de alimentación de líquido, que permita independizar el punto de carga del sector de alta.

Ninguna botella de refrigerante líquido deberá ser conectada o dejarse permanentemente conectada a la instalación fuera de las operaciones de carga y descarga del refrigerante.

## 4.11. Mantenimiento e inspección de las instalaciones frigoríficas

### 4.11.1. Mantenimiento

El mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones frigoríficas, incluida cualquier reparación, modificación o sustitución de componentes, así como las revisiones periódicas obligatorias, se realizará por una empresa frigorista contratada por el titular de la instalación entre las empresas del nivel requerido para la categoría de instalación a mantener y que se encuentren inscritas en el registro correspondiente de la comunidad autónoma.

Las operaciones de mantenimiento preventivo o correctivo que requieran la asistencia de personal acreditado de otras profesiones (como soldadores y electricistas) deberán ser realizadas bajo la supervisión de una empresa frigorista.

La manipulación de refrigerantes y la prevención y control de fugas de los mismos en las instalaciones frigoríficas se realizará atendiendo a lo establecido en la sección 4.13, debiéndose subsanar lo antes posible las fugas detectadas.

Cada sistema de refrigeración deberá ser sometido a un mantenimiento preventivo de acuerdo con el manual de instrucciones. La frecuencia del mantenimiento dependerá del tipo, dimensiones, antigüedad, aplicación, etc., de la instalación.

El titular de la instalación será responsable de contratar el mantenimiento de la instalación con una empresa frigorista de acuerdo con el artículo 18 del Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas .

La empresa frigorista contratada para el mantenimiento por el titular de la instalación garantizará que la instalación se supervisa regularmente y se mantiene de manera satisfactoria.

Asimismo, cuando en una instalación sea necesario sustituir equipos, componentes o piezas de los mismos, la empresa frigorista será responsable de que los nuevos elementos que suministra cumplen la reglamentación vigente.

La extensión y programa de mantenimiento deberán estar descritos detalladamente en el manual de instrucciones.

No obstante, en todo caso se deberán incluir en el programa de mantenimiento las siguientes operaciones:

- Verificación de todos los aparatos de medida control y seguridad así como los sistemas de protección y alarma para comprobar que su funcionamiento es correcto y que están en perfecto estado.
- Control de la carga de refrigerante.
- Control de los rendimientos energéticos de la instalación.

Cuando se utilice un sistema indirecto de enfriamiento o calentamiento, el fluido secundario deberá revisarse periódicamente, en cuanto a su composición y la posible presencia de refrigerante en el mismo.

De igual manera se procederá con los fluidos auxiliares para refrigeración de los componentes del sector de alta, tales como: recuperadores de calor, condensadores, subenfriadores y enfriadores de aceite.



Al igual que los demás componentes de la instalación frigorífica, el aislamiento deberá ser objeto de un mantenimiento específico adecuado, que como mínimo comprenderá las siguientes operaciones:

- Revisión semestral de la soportación de cámaras, estado de juntas y uniones con el suelo.
- Comprobación trimestral del funcionamiento de las válvulas de sobrepresión de las cámaras.
- Verificación mensual del funcionamiento de la resistencia y hermeticidad de la puerta, cierres, bisagra, apertura de seguridad, alarmas y ubicación del hacha en las cámaras.
- Retirada del hielo existente alrededor de las válvulas de sobrepresión, suelo y puertas, por lo menos semanalmente.
- Revisión semestral de los soportes de las tuberías y de la formación de hielo y condensaciones superficiales no esporádicas.
- Revisión semestral de la apariencia externa del aislamiento.

En caso de que se produzca deterioro, especialmente el que afecte a la barrera de vapor, deberá ser corregido con la mayor celeridad posible antes de que el daño se agrave, se generalice y afecte a la seguridad de la instalación.

En el mantenimiento correctivo, las reparaciones y sustituciones de componentes que contengan refrigerante deben realizarse asegurando el cumplimiento de los siguientes puntos en el orden en el que aparecen:

- Obtener permiso escrito del titular para realizar la reparación.
- Informar al personal a cuyo cargo está la conducción de la instalación.
- Aislar y salvaguardar los componentes a sustituir o reparar, tales como: motores, compresores, recipientes a presión, tuberías, etc.
- Vaciar y evacuar el componente o tramo a reparar..
- Limpiar o hacer barrido (por ejemplo, con nitrógeno).
- Realizar la reparación o sustitución.
- Ensayar y verificar los componentes reparados o sustituidos.
- Una vez finalizado el montaje del componente reparado o sustituido, hacer vacío de la parte afectada y restablecer la comunicación con el resto del sistema.
- Poner en servicio la instalación, verificar el correcto funcionamiento de la misma y reajustar la carga de refrigerante si fuere necesario.

Después de cada operación de mantenimiento correctivo se deberán realizar, si es necesario, las siguientes actuaciones:

- Todos los aparatos de medida control y seguridad así como los sistemas de protección y alarma deberán ser verificados para comprobar que su funcionamiento es correcto y que están en perfecto estado.
- Las partes afectadas del sistema de refrigeración serán sometidas a la correspondiente prueba de estanqueidad.
- Se hará vacío del sector o tramo afectado.
- Se ajustará la carga de refrigerante.

Las soldaduras para acero y cobre deberán ser realizadas por persona cualificada para ello. Si la tubería corresponde a las categorías I, II y III el soldador deberá disponer de un certificado de acreditación.

Dado el elevado riesgo de propagación de incendio que comportan los trabajos de soldadura en estas instalaciones se pondrá especial atención en su planificación y realización, adoptando medidas de puesta en disposición de medios de extinción adecuados, solicitud de permisos de trabajos previos al titular de la instalación, adoptando métodos de trabajo con reducción al mínimo de los riesgos, de acuerdo a la normativa laboral.

Después de que una válvula de seguridad con descarga a la atmósfera haya disparado deberá ser reemplazada si no queda totalmente estanca.

### **Revisiones periódicas obligatorias**

Las revisiones periódicas obligatorias comprenderán como mínimo las siguientes operaciones:

- Revisión del estado exterior de los componentes y materiales con respecto a posibles corrosiones externas y la protección contra las mismas.
- Revisión del estado interior de los aparatos multitubulares, una vez vaciados y desmontados los cabezales y las tapas de estos.
- Desmontaje de todos los limitadores de presión y elementos de seguridad, comprobación de su funcionamiento y, en caso necesario, calibración, ajuste, reparación o sustitución, tarado a las presiones que correspondan e instalación, de nuevo o por primera vez, en el sistema.
- Revisión de los recipientes frigoríficos para comprobar si han sufrido daños estructurales, si han estado fuera de servicio por un tiempo superior a dos años o han sufrido alguna reparación. En estos casos, y de acuerdo con lo indicado en la segunda nota del punto 1 del Anexo III del Reglamento de Equipos a Presión, aprobado por el RD 2060/2008, de 12 de diciembre, se realizará una inspección de nivel C.
- Revisión del estado de las placas de identificación procediendo a la reposición de las deterioradas.
- Revisión del estado de las tuberías.

- Revisión del estado del aislamiento.
- En las instalaciones frigoríficas con carga de refrigerante superior a 300 Kg. se comprobará mediante la técnica termográfica el estado del aislamiento de las tuberías y aparatos a presión de acero al carbono aplicando un sistema eficaz de muestreo.
- Revisión del estado de los detectores de fugas.
- Revisión del estado de limpieza de las torres de enfriamiento y condensadores evaporativos.
- Revisión de los equipos de protección personal reglamentarios.

La revisión de los equipos a presión de las instalaciones frigoríficas que correspondan al menos a la categoría I del Reglamento de equipos a presión, aprobado por el Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, consistirá en la realización de un control visual de todas las zonas sometidas a mayores esfuerzos y a mayor corrosión, así como de una comprobación de espesores, en el caso de que se detecten corrosiones significativas.

En los equipos, incluidas las tuberías, que dispongan de aislamiento térmico no será necesario retirarlo completamente. Se seleccionarán los puntos que puedan presentar mayores riesgos (corrosión interior o exterior, erosión, etc.), se abrirá el aislamiento en los citados puntos y se procederá a comprobar el espesor de paredes. Si se detectan pérdidas de espesores superiores a las previstas en los cálculos técnicos de la instalación se tomarán las medidas oportunas para corregir estos defectos.

Las revisiones periódicas de las instalaciones frigoríficas se realizarán por empresas frigoristas libremente elegidas por los titulares de la instalación de entre las empresas del nivel requerido para la categoría de instalación a revisar que se encuentren inscritas en el registro correspondiente de la comunidad autónoma.

Al finalizar cada revisión periódica la empresa frigorista extenderá un boletín de revisión en el que deberá constar:

- Nombre, dirección y número de registro de la empresa frigorista.
- Relación de las pruebas efectuadas.
- En su caso, relación de las reparaciones, sustituciones o modificaciones realizadas.
- Declaración de que la instalación, una vez revisada, cumple los requisitos de seguridad exigidos reglamentariamente.

### **Inspecciones periódicas de las instalaciones**

Estas inspecciones podrán hacerse coincidir con alguna de las revisiones detalladas en el apartado anterior y consistirán como mínimo en las siguientes actuaciones:

- Comprobación de que se hayan realizado las revisiones obligatorias y los controles de fugas de refrigerante que determina el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoristas.

- Inspección de la gestión de residuos.
- Inspección de la documentación que, en virtud de lo previsto en el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoristas, sea obligatoria y deba encontrarse en poder del titular.
- Comprobación de que se está llevando a cabo lo prescrito en el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- En el caso de recipientes frigoríficos que hayan sufrido daños estructurales, hayan estado fuera de servicio por un tiempo superior a dos años, o se haya cambiado el refrigerante a uno de mayor riesgo pasando de uno del grupo 2 a otro del grupo 1, según el artículo 9, apartado 2.1, del Reglamento de equipos a presión, aprobado por Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, o hayan sufrido alguna reparación de acuerdo con lo indicado en la 2ª nota del punto 1 del Anexo III del citado reglamento, se someterán a una inspección de nivel C.
- Inspección de los equipos a presión de las instalaciones frigoríficas que correspondan al menos a la categoría I del Reglamento de equipos a presión, aprobado por el Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, realizando un control visual de las zonas sometidas a mayores esfuerzos y a fuertes corrosiones. En estas últimas zonas se hará una comprobación de espesores por muestreo.

Esta inspección se realizará cada diez años independientemente del refrigerante empleado. Las inspecciones serán realizadas por organismos de control autorizados.

Del resultado de la inspección se levantará un acta en triplicado ejemplar que deberá ser suscrita por el inspector y por el titular de la instalación o representante autorizado por éstos para firmar. Esta acta se podrá realizar mediante medios electrónicos.

En caso de que el titular de la instalación no esté conforme con el resultado de la inspección podrá hacerlo constar en el acta.

Un ejemplar del acta quedará en poder del titular, en el libro registro del usuario, otro en poder del técnico inspector y el tercero será remitido al organismo competente de la comunidad autónoma.

Independientemente de las revisiones periódicas reglamentarias, se examinarán las instalaciones siempre que se efectúen reparaciones en las mismas por la empresa frigorista que las realice, haciéndose constar dichas reparaciones en el libro de registro de la instalación frigorífica.

## 4.12. Medidas de prevención y de protección personal

### Protección contra incendios

En el proyecto y ejecución de instalaciones frigoríficas se cumplirán, además de las prescripciones establecidas en el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias, las disposiciones específicas de prevención, protección y lucha contra incendios de ámbito nacional o local que les sean de aplicación.

Los agentes extintores utilizados no deberán congelarse a la temperatura de funcionamiento de las instalaciones, serán compatibles con los refrigerantes empleados en las mismas y adecuados para su uso sobre fuegos de elementos eléctricos y de aceite, si se usan interruptores sumergidos en baño de aceite.

Los sistemas de extinción se revisarán periódicamente, encontrándose en todo momento en condiciones de servicio adecuadas.

De acuerdo con el artículo 28 del Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas, en la proximidad del lugar de operación del sistema de refrigeración figurará un cartel de seguridad.

En el análisis de riesgos de un establecimiento que comprenda una instalación frigorífica, el usuario deberá tener necesariamente en cuenta los riesgos derivados de:

- La presión interna de los sistemas.
- Las temperaturas de los componentes y del ambiente.
- Las fugas de refrigerantes y lubricantes.
- La accesibilidad a los diferentes componentes y elementos de la instalación.

El plan de emergencia basado en el plan de seguridad deberá conseguir que cualquier incidente/accidente que pueda producirse en las instalaciones tenga una repercusión mínima o nula sobre:

- Las personas.
- La propia instalación.
- La continuidad de las actividades.
- El medio ambiente.

Además de las medidas prescritas relativas a las salas de máquinas, la instalación se proveerá de escaleras, barandillas, puentes grúas y otros elementos fijos necesarios para que desde el inicio de la puesta en marcha de la instalación quede garantizado el acceso a los diferentes elementos que requieran mantenimiento o manipulación.

### Equipos y productos de protección personal

Los equipos de protección y primeros auxilios: ropa de trabajo y equipos de protección para ojos y cara, manos, pies y piernas, etc., que en función del refrigerante utilizado y el tipo de operación realizada estén puestos a disposición del personal de la instalación frigorífica cumplirán las exigencias esenciales establecidas en el anexo 1 del Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.

Los dispositivos protectores de la respiración se colocarán fuera de la sala de máquinas frigorífica, cerca de las puertas y guardados de forma segura y protegida.

El dispositivo protector de la respiración deberá tener un mantenimiento de acuerdo con las instrucciones/recomendaciones dadas por el fabricante y será revisado periódicamente, incluso si no se usa.

Cuando sean utilizados dispositivos de respiración con filtro, deberá anotarse en cada ocasión el período de tiempo que dicho dispositivo ha sido utilizado. El filtro deberá ser sustituido con la frecuencia que sea necesaria. Deberá ser también anotada la fecha de adquisición de los nuevos filtros.

En las instalaciones frigoríficas, la utilización de los equipos de protección personal cumplirá lo dispuesto en la normativa laboral, de conformidad con el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

Para casos de emergencia se deberán prever los medios siguientes:

- Dispositivo de protección respiratoria.
- Equipos de primeros auxilios.
- Ducha de emergencia.

Esto no será aplicable para sistemas de refrigeración con carga de refrigerante inferior a 200 kg si es del grupo L1 ó 100 kg de refrigerante de los grupos L2 y L3. Tampoco será aplicable cuando no se requiera una sala de máquinas específica.

El dispositivo de protección respiratoria deberá ser apropiado para el refrigerante utilizado, tal como se indica en los apartados anteriores de esta instrucción.

Los dispositivos de respiración en sistemas de refrigeración que dispongan de salas de máquinas especiales estarán accesibles y se colocarán en la parte exterior de la entrada. Si no hay sala de máquinas se colocarán junto al sistema frigorífico.

Los dispositivos de protección respiratoria constarán de un mínimo de dos aparatos de respiración autónomos.

Estos servicios y pruebas serán realizados por el responsable de prevención de riesgos laborales de la empresa. Los dispositivos protectores de la respiración deberán ser revisados minuciosamente al menos una vez al mes, sometiéndoles a más pruebas si fuera necesario. En condiciones especialmente peligrosas las pruebas se realizarán con mayor frecuencia.

La revisión deberá comprender un examen visual a fondo de todos los elementos de las máscaras de protección o del aparato de respiración autónomo y sobre todo del buen estado de las correas, mascarillas, filtros y válvulas. En el caso de dispositivos

protectores de la respiración que consten de botellas de gas comprimido, deberán efectuarse pruebas para comprobar el estado y eficiencia de estos elementos, así como la presión existente en las botellas. Todos los desperfectos detectados durante la revisión o las pruebas deberán ser subsanados antes de cualquier uso posterior.

Se emitirá un informe de cada revisión y prueba efectuada y se reflejara en el libro de la instalación. Deberá normalmente incluir:

- Nombre y dirección del empresario responsable del dispositivo protector de la respiración.
- Datos del dispositivo y del número distintivo o referencia junto con una descripción suficiente para identificarlo y el nombre del fabricante.
- Fecha de revisión, nombre y firma o identificación inequívoca de la persona que lleva a cabo la revisión o prueba.
- Estado del dispositivo y datos de cualquier desperfecto encontrado; en el caso de máscaras de respiración con cartucho filtrante se confirmará que el filtro está sin usar.
- En el caso de equipos de oxígeno o aire comprimido, la presión del oxígeno o del aire, según el caso, existente en la botella de suministro.

El manual de servicio de la instalación deberá indicar las recomendaciones sobre los equipos de primeros auxilios necesarios y el protocolo de actuación.

### **Detectores y alarmas**

La ubicación de los detectores se debe elegir en función del refrigerante. Los detectores de refrigerante tendrán como fin avisar rápidamente, ya sea, de una concentración peligrosa de refrigerante en los alrededores de un sistema de refrigeración, o bien de una contaminación en el ambiente. En los apartados siguientes se definen los locales o zonas donde se deben ubicar.

En cada sala de máquinas específica la concentración de refrigerante deberá ser controlada por un sistema con un sensor como mínimo que active una alarma ubicada en locales ocupados por personas y que eventualmente aisle partes del sistema de refrigeración.

En las cámaras frigoríficas y locales refrigerados para procesos en los que en caso de fugas de refrigerantes pueda sobrepasarse los límites prácticos admisibles de concentración de refrigerante, se instalará un sistema de detección de fugas que active una alarma y aisle parte del sistema de refrigeración.

En un sistema indirecto de refrigeración conteniendo una carga de amoníaco de más de 500 kg, se deberá montar un detector específico para alertar la presencia del mismo en cada uno de los circuitos secundarios que contengan agua u otros fluidos. Dicho instrumento deberá basarse en métodos que garanticen la detección rápida del amoníaco en el fluido secundario.

## 4.13. Refrigerantes. Manipulación y fugas.

### 4.13.1. Manipulación y gestión de refrigerantes

La adquisición a título oneroso o gratuito, manipulación, recuperación, limpieza y reutilización de refrigerantes, queda restringido a las empresas frigoristas.

Los refrigerantes deberán ser manipulados, recuperados, limpiados y reutilizados de manera segura, por profesionales habilitados, evitándose cualquier peligro a personas o bienes, así como su emisión a la atmósfera.

Todos los fluidos de los sistemas de refrigeración (refrigerante, lubricante, fluido frigorífico, etc.) así como los elementos que contengan estos fluidos (filtros, deshidratadores, aislamiento térmico, etc.), deberán asimismo ser debidamente recuperados, reutilizados y/o eliminados, debiendo entregarse a un gestor de residuos autorizado cuando proceda.

Las empresas frigoristas serán responsables de la recuperación, limpieza, almacenamiento, y reutilización de los refrigerantes usado, así como, en los casos previstos de acuerdo con el artículo 12 del Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas de su entrega al gestor de residuos autorizado para su regeneración o eliminación.

Las empresas frigorista mantendrán debidamente actualizado un registro normalizado e informatizado, en el que se reflejará toda operación realizada con gases refrigerantes grabando, al menos, los datos siguientes:

- Fecha de la operación.
- Tipo de operación realizada: adquisición, cesión, carga del sistema, recuperación, entrega a gestor.
- Tipo y cantidad de refrigerante.
- Persona competente responsable de la operación
- Distribuidor, empresa frigorista, instalación, o gestor de residuos autorizado, según proceda en función del tipo de operación.
- Número de factura o contrato.

La operación deberá figurar inscrita en el registro antes de las 24 horas posteriores a haberse efectuado.

Dicho registro se facilitará de manera anual al órgano competente en materia de medio ambiente de la comunidad autónoma que corresponda.

Dicho registro reflejará asimismo las operaciones referentes a los residuos de dichos refrigerantes, dando cumplimiento al artículo 21.1.c) de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.

Asimismo, cada operación en que intervenga el refrigerante, así como el origen de éste, deberá anotarse en el libro de registro de la instalación frigorífica.

A petición del usuario, el proveedor del refrigerante (empresa frigorista) deberá entregar un certificado, por ejemplo, como el descrito en la Norma UNE- EN 10204, emitido por el gestor que ha procedido al reciclaje o regeneración.



La manipulación de los refrigerantes, en operaciones de carga de la instalación, recuperación, limpieza, reutilización, trasvase, y entrega a gestor de residuos deberá efectuarse, únicamente, por profesionales habilitados en plantilla de la empresa frigorista, empleando para ello los métodos, materiales y equipos correspondientes tal y como se recoge en los apartados sucesivos.

El método de manipulación del refrigerante se deberá decidir antes de que éste sea extraído del sistema de refrigeración o del equipo. Tal decisión se deberá basar en las siguientes consideraciones:

- Historial del sistema de refrigeración.
- Tipo y distribución del refrigerante dentro del sistema de refrigeración.
- Razón por la cual se extrae el refrigerante del sistema de refrigeración.
- Estado de conservación del sistema de refrigeración o del equipo y si estos serán o no puestos nuevamente en funcionamiento.

Las pérdidas de refrigerante a la atmósfera se deberán reducir al máximo durante su manipulación.

Los refrigerantes sólo se deberán introducir en los sistemas de refrigeración después de haber efectuado las pruebas de presión y estanqueidad.

Los envases de los refrigerantes no se deberán conectar nunca a un sistema con una presión superior ni a tuberías con refrigerante líquido cuya presión sea suficiente para provocar retorno de refrigerante hacia el envase.

El retorno de refrigerante puede provocar errores de carga y sobrellenar los envases. Esto podría ocasionar una elevación de la presión (por dilatación térmica del líquido) tal que el envase podría reventar o abrirse la válvula de seguridad, si la hubiera.

Con el fin de minimizar las pérdidas de refrigerante las líneas de carga deberán ser lo más cortas posibles y deberán estar provistas de válvulas o conexiones de cierre automático.

El refrigerante que se introduce en el sistema deberá ser medido en masa o volumen con balanza o dispositivo de carga volumétrico, etc.. En el caso de una mezcla zeotrópica el refrigerante será cargado en fase líquida de acuerdo con las instrucciones del fabricante del refrigerante. Cuando se cargue un sistema, no se superará su carga máxima admisible, entre otros motivos, por el riesgo de un golpe de líquido.

La carga de refrigerante se deberá llevar a cabo, preferentemente, por el sector de baja presión del sistema.

Todo punto en la tubería principal de líquido situado después de una válvula de corte cerrada será considerado como un punto del sector de baja presión.

Antes de cargar con refrigerante un sistema de refrigeración, se deberá comprobar minuciosamente el contenido de los envases de refrigerante. La carga de una sustancia inapropiada podría provocar accidentes, entre ellos explosiones.

Los envases de refrigerantes se deberán abrir lentamente y con precaución.

Los envases de refrigerantes se deberán desconectar del sistema inmediatamente después de finalizar el llenado o vaciado del mismo.

Los envases de refrigerantes no se deberán golpear, dejar caer, tirar al suelo ni exponer a radiación térmica durante el llenado o vaciado.

Se deberá verificar que los envases de refrigerantes no tengan ningún tipo de corrosión.

Cuando se añada refrigerante a un sistema, por ejemplo, después de una reparación, se añadirá el fluido en pequeñas cantidades para evitar sobrecargas, mientras se vigila la presión de los sectores de baja y alta presión.

Cuando la carga de refrigerante máxima admisible en un sistema haya sido sobrepasada será preciso trasvasar parte de la misma a otros envases. Estos deberán ser pesados cuidadosamente durante el trasvase para asegurarse que nunca se sobrepase su carga máxima. Nunca se cargará el envase hasta un punto tal que la dilatación térmica del líquido refrigerante, como consecuencia de una subida de temperatura, pueda provocar la rotura del mismo. La masa máxima admisible deberá estar marcada en los envases.

Los envases de refrigerante deberán fabricarse cumpliendo con los distintos requisitos para relleno de envases de las reglamentaciones nacionales. Estos podrán incluir un dispositivo de sobrepresión convenientemente tarado y un capuchón protector de válvula.

Los envases de refrigerante no deberán conectarse entre sí, puesto que este hecho podría provocar un trasvase incontrolado de refrigerante hasta sobrellenar el recipiente más frío.

Al llenar los envases de refrigerante, no deberá sobrepasarse la capacidad de carga máxima (alrededor del 80 % del volumen en líquido a 20°C aproximadamente).

La capacidad de trasvase depende del volumen interior del envase y de la densidad del refrigerante en fase líquida a la temperatura de referencia (normalmente 20°C).

Los refrigerantes se deberán trasvasar únicamente a envases identificados con el tipo de refrigerante, en razón a las diferentes presiones de servicio de los mismos.

Con el fin de evitar el riesgo de mezclar distintos tipos y calidades de refrigerante (por ejemplo: reciclados) el envase receptor sólo deberá haber sido utilizado previamente para esa calidad de refrigerante. La calidad deberá marcarse con claridad.

El trasvase de refrigerante de un envase a otro se deberá efectuar aplicando métodos seguros y reconocidos.

Se deberá establecer un diferencial de presión entre los envases, ya sea refrigerando el envase receptor o bien calentando el envase emisor. El calentamiento se deberá realizar mediante una manta calefactora con un termostato regulado a 55°C o menos y un fusible térmico o un termostato sin rearme automático, ajustado a una temperatura tal que la presión de saturación del refrigerante no supere el 85 % de la de tarado del dispositivo de alivio del envase.

Bajo ningún concepto se deberá descargar a la atmósfera refrigerante del envase receptor para hacer bajar la presión existente en el mismo.

Para incrementar el caudal de transferencia de refrigerante no se deberá calentar directamente los envases de refrigerante mediante llamas abiertas, calefactores de calor radiante o calefactores de contacto directo.

### **Requisitos para la recuperación y reutilización del refrigerante**

Las directrices dadas en relación con el tratamiento a seguir para la recuperación de un refrigerante antes de su reutilización, son aplicables a todas las clases de refrigerantes con las siguientes salvedades para refrigerantes CFC y HCFC.

Los refrigerantes CFC una vez recuperados, no se pueden reutilizar y deberán ser entregados a gestor de residuos autorizado para su eliminación.

Los refrigerantes HCFC una vez recuperados, sólo podrán reutilizarse bien por la misma empresa frigorista que los recuperó, bien por otra distinta pero, en este caso, únicamente en equipos del mismo titular que el equipo del cual se recuperaron. A partir del 1 de enero de 2015 no se podrán reutilizar en ningún caso y deberán ser entregados a gestor de residuos autorizado para su eliminación.

En el resto de casos se dará preferencia, en primer lugar, a la reutilización del refrigerante, previa limpieza del mismo y en segundo lugar a la regeneración, evitándose la eliminación del refrigerante siempre que sea posible.

### **Procedimiento de limpieza del circuito frigorífico**

Deberá limpiarse total o parcialmente según proceda el circuito frigorífico siempre que:

- Se haya producido una descomposición del aceite y haya presencia de corrosión o rotura de compresor.
- Haya entrado agua o humedad en el circuito frigorífico.
- El pH del aceite sea menor de 7.
- Sea necesario extraer restos de soldadura del interior.
- Se desmantele o retire el equipo.
- Cuando sea necesario cambiar el tipo de aceite por cambio de tipo de refrigerante.

Se podrán emplear, entre otros, los siguientes procedimientos de limpieza:

- Con productos químicos en circuito abierto.
- Con productos evaporables en condiciones de temperatura ambiente y presión atmosférica, que no sean nocivos para operario o el medio ambiente, y en ningún caso sustancias organohalogenadas. Una vez finalizado su uso se deberán recuperar y, en su caso, entregar a gestor de residuos.
- Con maquinaria específica en circuito cerrado.
- Con el mismo refrigerante de la instalación o sustancia equivalente siempre que sea miscible y soluble con el aceite presente en el circuito, mediante maquinaria específica que sea capaz de circularlo por el circuito y separar las impurezas y residuos en unas condiciones de circuito cerrado y ausencia de emisiones a la atmósfera.

### Requisitos para efectuar el cambio del tipo de refrigerante

En el caso de que haya un cambio del tipo de refrigerante utilizado en la instalación, deberán observarse los siguientes puntos:

- Se confirmará que el sistema de refrigeración permite el cambio del tipo de refrigerante.
- Se pondrá especial atención al contenido de los envases de gas para asegurarse de que el refrigerante que se carga es el adecuado.
- Se comprobará que todos los materiales utilizados en el sistema de refrigeración son compatibles con el nuevo tipo de refrigerante.
- Se considerará la posibilidad de que pueda sobrepasarse la presión máxima admisible en alguno de los componentes, tuberías, intercambiadores o recipientes.
- Se verificará la potencia del motor.
- Se considerará la clasificación del refrigerante.
- Se sustituirán o se reajustarán, si es necesario, los dispositivos de control y de seguridad.
- Se verificará el contenido del recipiente de líquido.
- Se evitará la mezcla con residuos de refrigerante y de aceite que puedan quedar en el circuito; en los casos en que sea necesario se limpiará el circuito.
- Se cambiarán todas las indicaciones relativas al tipo de refrigerante usado.
- Se actualizarán los libros de registro y la documentación, incluida la ficha técnica del equipo.
- Se asegurará que el refrigerante original sea recuperado de acuerdo a la normativa.
- Si el refrigerante recuperado de una instalación no se puede volver a reutilizar por la pérdida de sus propiedades iniciales debido a una posible contaminación, se procederá a su entrega al gestor de residuos autorizado.

Se adoptarán las medidas adecuadas para que la instalación resultante cumpla con el vigente Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas.

#### 4.13.2. Reducción de fugas en las instalaciones frigoríficas

Con éste capítulo se pretende minimizar las emisiones de refrigerante a la atmósfera por fugas, escapes, etc. y en el mismo se describen las consideraciones mínimas a tener en cuenta en el diseño, construcción, montaje, mantenimiento y desmantelamiento de instalaciones frigoríficas y bombas de calor.

Es de aplicación a todos los equipos y componentes afectados por el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas, tanto para nuevas realizaciones como para revisiones, cambio de refrigerante y ampliaciones de las instalaciones existentes.

Los requisitos sobre el diseño de las instalaciones y sus componentes son:

- El diseño de componentes, equipos, e instalaciones será lo más sencillo posible.
- Se emplearán las normas EN más actuales relativas a la seguridad y eficiencia energética.
- El diseño deberá facilitar el mantenimiento, evitando sistemas complejos. Se procurará reducir en lo posible las necesidades frigoríficas, por ejemplo utilizando el almacenamiento térmico, frío natural del aire ambiente (free-cooling), etc.
- Se reducirá lo máximo posible la carga de refrigerante.
- Se analizará con detalle la conveniencia de utilizar sistemas indirectos, seleccionando intercambiadores de calor ampliamente dimensionados, para reducir el impacto sobre el consumo de energía.
- Se elegirán los separadores de aspiración, recipientes de líquido, sistemas de bombeo, etc. con la mínima carga de refrigerante.
- Para cualquier circuito frigorífico con mas de 3000kg de refrigerante, en sistemas por bombeo, se montarán válvulas de cierre, accionadas automáticamente por un detector de fugas o un interruptor de emergencia, en las tuberías de aspiración de las bombas. En la tubería general del líquido de alta a la salida de la sala de máquinas se montará también una válvula de cierre automático accionada de forma similar. En caso de fallo de corriente dichas válvulas se cerrarán. Si son de bola deberán disponer de un orificio aguas arriba cuando estén en posición cerrada, para evitar rotura por dilatación del líquido enclerrado dentro de la bola.
- Se reducirá el empleo de juntas y cierres no herméticos, empleando preferentemente uniones soldadas.
- Dentro de lo razonable desde el punto de vista técnico y económico se utilizarán refrigerantes con el menor grado de impacto ambiental. Tanto para el caso de fugas como desde el punto de vista de eficiencia energética.
- En la conversión de instalaciones existentes se comprobará que todos los componentes sean compatibles con los nuevos refrigerantes y aceites que se utilicen para evitar fugas por corrosiones, altas presiones, etc.
- Los materiales de construcción serán compatibles con los refrigerantes y aceites a emplear para evitar corrosiones, pares galvánicos en la unión de metales, etc. Se preverán sobreespesores para compensar corrosiones superficiales por ataques químicos si existe el riesgo de que esto ocurra. Se elegirán velocidades de los fluidos dentro de los límites aceptados como razonables.

- Las tuberías serán básicamente de acero o cobre (en los tramos de tuberías de material férreo en los que haya permanentes cambios de temperatura, con presencia intermitente de hielo o escarcha, se realizarán en acero inoxidable). En circuitos secundarios también se podrán emplear plásticos especiales. Se dispondrán y soportarán correctamente para evitar vibraciones, dilataciones, golpes de líquido, etc. que puedan favorecer las fugas. Se dará prioridad a las uniones soldadas. La tubería para instrumentación será preferentemente de acero al carbono o inoxidable del tipo hidráulico y con uniones por accesorios a presión. Los plásticos y el cobre podrán utilizarse también si se toman calidades y espesores adecuados. Se evitarán las uniones abocardadas. Se evitarán en lo posible las conexiones flexibles. El trazado de tuberías se realizará de manera que estas puedan controlarse permanentemente, evitando para ello su paso por zonas de difícil acceso. Queda, por ello, prohibido instalar tuberías en huecos de ascensores y en zonas no visitables.
- En la selección de compresores se dará prioridad a los que ofrezcan el menor riesgo de fugas de refrigerante y los mejores rendimientos energéticos.
- Se elegirán preferentemente equipos auxiliares de tipo hermético: bombas de refrigerante, generadores de hielo, bombas de aceite, etc. (obligatorio para todos los refrigerantes con GWP>5).
- Se instalarán suficientes válvulas de cierre entre los componentes para reducir las pérdidas de refrigerantes en averías y revisiones. Estas llevarán caperuzas, salvo cuando sean de apertura/cierre muy frecuentes.
- Las válvulas de seguridad y otros mecanismos de protección contra sobrepresiones en depósitos y tuberías de líquido del lado de alta se descargarán preferentemente a un depósito en el lado de baja y no directamente a la atmósfera. Serán válvulas cuya capacidad de descarga sea independiente de la contrapresión. El diseño de la conexión de las válvulas deberá facilitar el mantenimiento y revisión de las mismas sin que en ningún momento quede desprotegido el componente a presión. La protección contra sobrepresiones de los depósitos en la zona de baja, descargará a la atmósfera. En instalaciones con fluidos fluorados y carga superior a 1000 kg de refrigerante se montarán discos de rotura antes de las válvulas de seguridad que descarguen a la atmósfera.
- En instalaciones con carga de refrigerante superior a 3kg no se podrán utilizar discos de rotura ni tapones fusible con descarga a la atmósfera, salvo que lleven en serie válvulas de seguridad.
- Se adoptarán las medidas adecuadas para detectar las eventuales fugas de las válvulas de seguridad.
- En instalaciones nuevas con carga de refrigerante superior a 1000kg y con una presión, en el sector de baja, inferior a la atmosférica, se instalarán purgadores de incondensables de funcionamiento automático para R-717 y fluorados. Cuando se trate de refrigerantes fluorados estos purgadores podrán ser de funcionamiento manual. Serán del tipo de refrigeración interna (con o sin equipo

frigorífico autónomo) y entrarán en servicio únicamente cuando las instalaciones estén en marcha.

- Se instalarán indicadores de nivel de líquido para poder determinar la carga correcta de la instalación y controlar las eventuales pérdidas de refrigerante. Esto no será necesario en equipos autónomos cargados en fábrica, que deberán incorporar un visor en la línea de líquido.
- Las pruebas de presión y de estanqueidad se realizarán según se determinan en este reglamento. Para las de estanqueidad y de presión neumática se empleará preferentemente  $N_2$  seco, exento de oxígeno. No se admitirá el aire comprimido salvo en casos en que se asegure que no forma mezclas combustibles o explosivas con los refrigerantes. Estas pruebas de presión o estanqueidad no se podrán realizar con refrigerante.
- Las instalaciones con cargas de refrigerantes fluorados superiores a los 300kg deberán contar con sistemas de detección de fugas, que estarán constituidos por dispositivos calibrados mecánicos, eléctricos o electrónicos para la detección de fugas de gases fluorados de efecto invernadero que, en caso de detección, alerten al responsable del funcionamiento técnico de la instalación.

En cuanto a la acumulación de refrigerante se debe cumplir:

- Los sistemas de refrigeración con carga superior a 30 kg de refrigerante dispondrán de facilidades para recoger toda la carga de una o más secciones equipadas con válvulas de cierre, dentro del propio sistema o en un depósito externo, aislable con válvulas, conectado permanentemente a la instalación. En las instalaciones de evaporador único la colocación del depósito será facultativa de la empresa instaladora.
- Los sistemas con más de 3kg de carga de gas llevarán válvulas de bloqueo cuyo número y ubicación permitirá aislar partes del circuito en caso de reparaciones o de fugas, para limitar la emisión de refrigerante.
- Antes de abrir un circuito frigorífico se extraerá el refrigerante hasta una presión igual o inferior a 0,6bar absolutos cuando el volumen interior sea igual o inferior a  $200dm^3$  y a 0,3bar absolutos para circuitos con volumen interior superior.
- Antes de dismantelar una instalación se extraerá el refrigerante hasta una presión absoluta de 0,6bar cuando el volumen interior sea igual o inferior a  $200dm^3$  y a 0,3bar para circuitos con volumen interior superior.
- Los separadores de aspiración en los sistemas de bombeo de refrigerante deberán estar provistos de válvulas manuales en la entrada y salida del separador (aspiración húmeda y aspiración seca).

En los sistemas que empleen refrigerantes fluorados se deberá recurriendo a todas las medidas que sean técnicamente viables y no requieran gastos desproporcionados:



- Evitar fugas de refrigerantes.
- Subsanan lo antes posible las fugas detectadas, actuando de inmediato para corregirlas y parando las instalaciones si la fuga es significativa.

La reparación de las fugas, en caso de existir, se hará por personal habilitado.

No se recargará en ningún caso refrigerante sin haber localizado y reparado la fuga.

La empresa frigorista encargada del mantenimiento de la instalación deberá llevar a cabo las revisiones establecidas, comunicando los resultados al titular y consignándolos en el libro de registro de la instalación, especificando zona y causa de fuga, si la hubiera, así como la identificación del personal competente que haya realizado la revisión.

Adicionalmente a los controles periódicos, todo sistema será objeto de un control de fugas antes de un mes a partir del momento en que se haya subsanado una fuga con objeto de garantizar que la reparación ha sido eficaz.

La revisión de los sistemas se realizará de acuerdo al procedimiento expuesto a continuación, por profesional habilitado.

Se comprobará el libro de registro de la instalación frigorífica, prestando especial atención a las áreas problemáticas o que han presentado fugas en anteriores ocasiones. Se deberán tener en cuenta asimismo las instrucciones generales y específicas del manual de instrucciones de la instalación.

De existir alguna deficiencia en los libros de registro o manuales de instrucciones de la instalación frigorífica, se especificará en el correspondiente informe.

En la comprobación de la instalación, se prestará especial atención a:

- Ruidos o vibraciones anormales, formación de hielo e insuficiente capacidad de enfriamiento.
- Señales visuales de corrosión, fugas de aceite y daños en componentes o materiales, en particular en las zonas más propensas a fugar como juntas, uniones, válvulas, etc.
- Visores o indicadores de nivel si la instalación dispone de los mismos.
- Daños en elementos de seguridad como presostatos, válvulas de seguridad, conexiones de sensores, etc.
- Detectores de fugas permanentes instalados en el sistema.
- Valores de los parámetros de funcionamiento que puedan revelar condiciones anormales.
- Zonas en la que se han producido fugas con anterioridad, o hayan sido reparadas o intervenidas.
- Otros signos de pérdida de refrigerante.

Se realizará la comprobación de los elementos reflejados por el fabricante o instalador en el manual de instrucciones de la instalación mediante el procedimiento y medios que se indiquen.



En la detección de fugas se revisarán de manera sistemática los siguientes elementos, prestando especial atención a los más propensos a fugar según el historial de la instalación:

- Juntas y conexiones.
- Válvulas incluyendo vástagos.
- Partes del sistema sujetas a vibraciones.
- Sellados, incluidos los de deshidratadores y filtros.
- Conexiones a los elementos de seguridad y control.

Una vez detectadas las áreas que fugan refrigerante se indentificarán mediante:

- Aplicación de productos o disoluciones adecuadas.
- Detectores manuales de gas refrigerante y localizadores de fugas por ultrasonidos, etc.
- Detectores ultravioleta, de ser aplicables.

De manera indirecta se puede valorar la presencia de fugas analizando los siguientes parámetros:

- Presión.
- Temperatura.
- Consumo energético del compresor.
- Niveles de refrigerante en estado líquido.
- Volúmenes de recarga.

## 4.14. Instalación de protección contra incendios

Los aparatos, equipos y sistemas, así como su instalación y mantenimiento empleados en la protección contra incendios, cumplirán las condiciones especificadas en el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios RD 1942/ 1993.

Las características mínimas de los componentes para la protección contra incendios se especifican en cada una de las normas UNE correspondientes a cada instalación de protección de incendios.

Todos los componentes de la instalación deberán recibirse en obra conforme a: la documentación del fabricante, normativa si la hubiere, especificaciones del proyecto y a las indicaciones de la dirección facultativa durante la ejecución de las obras.

Productos con marcado CE:

- Productos de protección contra el fuego.
- Hidrantes.
- Sistemas de detección y alarma de incendios.
- Instalaciones fijas de lucha contra incendios. Sistemas equipados con mangueras, bocas de incendio equipadas con mangueras semirrígidas, bocas de incendio equipadas con mangueras planas.
- Sistemas fijos de lucha contra incendios. Componentes para sistemas de extinción mediante agentes gaseosos, componentes para sistemas de rociadores y agua pulverizada, sistemas de extinción por polvo.

De acuerdo con el Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios, la recepción de estos se hará mediante certificación de entidad de control que posibilite la colocación de la correspondiente marca de conformidad a normas.

No será necesaria la marca de conformidad de aparatos, equipos u otros componentes cuando éstos se diseñen y fabriquen como modelo único para una instalación determinada. No obstante, habrá de presentarse ante los servicios competentes en materia de industria de la Comunidad Autónoma, antes de la puesta en funcionamiento del aparato, el equipo o el sistema o componente, un proyecto firmado por técnico titulado competente, en el que se especifiquen sus características técnicas y de funcionamiento y se acredite el cumplimiento de todas las prescripciones de seguridad exigidas por el citado Reglamento, realizándose los ensayos y pruebas que correspondan de acuerdo con él.

Las piezas que hayan sufrido daños durante el transporte o que presentaren defectos no apreciados en la recepción en fábrica serán rechazadas. Asimismo serán rechazados aquellos productos que no cumplan las características mínimas técnicas prescritas en proyecto.

Los productos se protegerán de humedad, impactos y suciedad, a ser posible dentro de los respectivos embalajes originales. Se protegerán convenientemente todas las roscas de la instalación. Finalmente los productos no estarán en contacto con el terreno.

### Prescripción en cuanto a la ejecución por unidades de obra

El soporte de las instalaciones de protección contra incendios serán los paramentos verticales u horizontales, así como los pasos a través de elementos estructurales, cumpliendo recomendaciones de la subsección Electricidad: baja tensión y puesta a tierra y el capítulo Fontanería según se trate de instalación de fontanería o eléctrica. Quedarán terminadas las fábricas, cajeados, pasatubos, etc., necesarios para la fijación, (empotradas o en superficie) y el paso de los diferentes elementos de la instalación. Las superficies donde se trabaje estarán limpias y niveladas.

El resto de componentes específicos de la instalación de la instalación de protección contra incendios, como extintores, B.I.E., rociadores, etc., irán sujetos en superficie o empotrados según diseño y cumpliendo los condicionantes dimensionales en cuanto a posición según el CTE DB SI. Dichos soportes tendrán la suficiente resistencia mecánica para soportar su propio peso y las acciones de su manejo durante su funcionamiento.

Para prevenir el fenómeno electroquímico de la corrosión galvánica entre metales con diferente potencial, se adoptarán las siguientes medidas:

- Evitar el contacto entre dos metales de distinta actividad. En caso de no poder evitar el contacto, se deberá seleccionar metales próximos en la serie galvánica.
- Aislar eléctricamente los metales con diferente potencial.
- Evitar el acceso de agua y oxígeno a la zona de unión de los dos metales.
- En el caso de utilizarse en un mismo local extintores de tipos diferentes, se tendrá en cuenta la posible incompatibilidad entre los distintos agentes de los mismos.
- Cuando las canalizaciones sean superficiales, nunca se soldará el tubo al soporte.

La instalación de aparatos, equipos, sistemas y sus componentes, con excepción de los extintores portátiles, se realizará por instaladores debidamente autorizados.

La Comunidad Autónoma correspondiente, llevará un libro de Registro en el que figurarán los instaladores autorizados.

Durante el replanteo se tendrá en cuenta una separación mínima entre tuberías vecinas de 25 cm y con conductos eléctricos de 30 cm. Para las canalizaciones se limpiarán las roscas y el interior de estas.

El paso a través de elementos estructurales será por pasatubos, con holguras rellenas de material elástico, y dentro de ellos no se alojará ningún accesorio. Todas las uniones, cambios de dirección, etc., serán roscadas asegurando la estanquidad con pintura de minio y empleando estopa, cintas, pastas, preferentemente teflón. Las reducciones de sección de los tubos, serán excéntricas enrasadas con las generatrices de los tubos a unir. Cuando se interrumpa el montaje se taparán los extremos.

Una vez realizada la instalación eléctrica y de fontanería se realizará la conexión con los diferentes mecanismos, equipos y aparatos de la instalación, y con sus equipos de regulación y control.

Tolerancias admisibles:

- Extintores de incendio: se comprobará que la parte superior del extintor quede, como máximo, a 1,70m sobre el suelo.
- Columna seca: la toma de fachada y las salidas en las plantas tendrán el centro de sus bocas a 90cm sobre el nivel del suelo.
- Bocas de incendio: la altura de su centro quedará, como máximo, a 1,50m sobre el nivel del suelo o a más altura si se trata de BIE de 2,5cm, siempre que la boquilla y la válvula de apertura manual, si existen, estén situadas a la altura citada.

Al término de la instalación, e informada la dirección facultativa, el instalador autorizado emitirá la documentación reglamentaria que acredite la conformidad de la instalación con la Reglamentación vigente.

## 4.15. Relación de normas de referencia

UNE-EN 287-1:2004. Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros

UNE-EN 287-1:2004/A2:2006. Cualificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros

UNE-EN 378-1:2008. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte 1: Requisitos básicos, definiciones, clasificación y criterios de elección

UNE-EN 378-2:2008+A1:2009. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte 2: Diseño, fabricación, ensayos, marcado y documentación.

UNE-EN 378-3:2008. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte 3: Instalación .“in situ.” y protección de las personas.

UNE-EN 378-4:2008. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte 4: Operación, mantenimiento, reparación y recuperación.

UNE-EN 1736:2009. Sistemas de refrigeración y bombas de calor Elementos flexibles de tuberías, aisladores de vibración, juntas de dilatación y tubos no metálicos. Requisitos, diseño e instalación.

UNE-EN 1861:1999. Sistemas frigoríficos y bombas de calor. Esquemas sinópticos para sistemas, tuberías e instrumentación. Configuración y símbolos.

UNE-EN 10204:2006. Productos metálicos. Tipos de documentos de inspección.

UNE-EN 10253-2:2010. Accesorios para tuberías soldadas a tope. Parte 2: Aceros al carbono y aceros aleados férricos con control específico.

UNE-EN 12178:2004. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Dispositivos indicadores de nivel de líquido. Requisitos, ensayos y marcado.

UNE-EN 12263:1999. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Dispositivos interruptores de seguridad para limitar la presión. Requisitos y ensayos.

UNE-EN 12284:2005. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Válvulas. Requisitos, ensayos y marcado.

UNE-EN 12693:2009. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Compresores volumétricos para fluidos refrigerantes.

UNE-EN 12735-1:2001. Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos de cobre, sin soldadura, para aire acondicionado y refrigeración. Parte1: Tubos para canalizaciones.

UNE-EN 12735-1:2001/A1:2006. Cobre y aleaciones de cobre .Tubos redondos de cobre, sin soldadura, para aire acondicionado y refrigeración. Parte1: Tubos para canalizaciones.

UNE-EN 12735-2:2001. Cobre y aleaciones de cobre .Tubos redondos de cobre, sin soldadura, para aire acondicionado y refrigeración. Parte 2: Tubos para equipos.

UNE-EN 12735-2:2001/A1:2006. Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos de cobre, sin soldadura, para aire acondicionado y refrigeración. Parte 2: Tubos para equipos.

UNE-EN 13136:2009. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Dispositivos de alivio de presión y sus tuberías de conexión. Métodos de cálculo.

UNE-EN 13136:2002/A1:2005. Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Dispositivos de alivio de presión y sus tuberías de conexión. Métodos de cálculo.

UNE-EN 13163:2009. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS). Especificación

UNE-EN 13164:2009. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno extruido (XPS). Especificación.

UNE-EN 13165:2009. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de espuma rígida de poliuretano (PUR). Especificación.

UNE EN 13166:2009. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de espuma fenólica (PF). Especificación.

UNE-EN 13167:2009. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de vidrio celular (CG). Especificación.

UNE-EN 13170:2009. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de corcho expandido (ICB). Especificación.

UNE-EN 14276-1:2007. Equipos a presión para sistemas de refrigeración y bombas de calor. Parte 1: Recipientes. Requisitos generales.

UNE-EN 14276-2:2008. Equipos a presión para sistemas de refrigeración y bombas de calor. Parte 2: Redes de tuberías. Requisitos generales.

UNE-EN 14509:2007. Paneles sándwich aislantes autoportantes de doble capa metálica. Productos hechos en fábrica. Especificaciones.

UNE-EN 14509:2007/AC:2009. Paneles sándwich aislantes autoportantes de doble capa metálica. Productos hechos en fábrica. Especificaciones.

UNE-EN 60204-1:2007. Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales (IEC 60204-1:2005, modificada).

UNE-EN 60204-1:2007 CORR:2010. Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales (IEC 60204-1:2005, modificada).

UNE-EN 60204-1:2007/A1:2009 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales (IEC 60204-1:2005, modificada).

UNE-EN 60335-1/A14:1999. Seguridad de los aparatos electrodomésticos y análogos. Parte 1: Requisitos generales.

UNE-EN 60335-2-34:2003. Seguridad de los aparatos electrodomésticos y análogos. Parte 2-34: Requisitos particulares para los motocompresores.

UNE-EN 60335-2-34:2003/A11:2004. Aparatos electrodomésticos y análogos. Seguridad. Parte 2-34: Requisitos particulares para motocompresores.

UNE-EN 60335-2-34:2003/A1:2005. Aparatos electrodomésticos y análogos. Seguridad. Parte 2-34: Requisitos particulares para motocompresores.

UNE-EN 60335-2-34:2003/A1:2005 ERRATUM:2005. Aparatos electrodomésticos y análogos. Seguridad. Parte 2-34: Requisitos particulares para motocompresores.

UNE-EN 60335-2-34:2003/A2:2009. Seguridad de los aparatos electrodomésticos y análogos. Seguridad. Parte 2-34: requisitos particulares para motocompresores.

UNE-EN 60617-2:1997. Símbolos gráficos para esquemas. Parte 2: Elementos de símbolos, símbolos distintivos y otros símbolos de aplicación general.

UNE-EN 60617-3:1997. Símbolos gráficos para esquemas. Parte 3: Conductores y dispositivos de conexión.

UNE-EN 60617-4:1997. Símbolos gráficos para esquemas. Parte 4: Componentes pasivos básicos.

UNE-EN 60617-6:1997. Símbolos gráficos para esquemas. Parte 6: Producción, transformación y conversión de la energía eléctrica.

UNE-EN 60617-7:1997. Símbolos gráficos para esquemas. Parte 7: Aparamenta y dispositivos de control y protección.

UNE-EN 60617-8:1997. Símbolos gráficos para esquemas. Parte 8: Aparatos de medida, lámparas y dispositivos de señalización.

UNE-EN ISO 12100-1:2004. Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 1: Terminología básica, metodología.

UNE-EN ISO 12100-1:2004/A1:2010. Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 1: Terminología básica, metodología.

UNE-EN ISO 12100-2:2004. Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 2: Principios técnicos.

UNE-EN ISO 12100-2:2004/A1:2010. Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 2: Principios técnicos.

UNE 41950-2:1994 Panel de poliuretano con capas de cobertura metálicas o no metálicas. Parte 2: Con capas no metálicas.

UNE 41950-3:1994 Panel de poliuretano con capas de cobertura metálicas o no metálicas. Parte 3: Métodos de medición y ensayo.

UNE 41950-3:1998 Erratum Panel de poliuretano con capas de cobertura metálicas o no metálicas. Parte 3: Métodos de medición y ensayo.

UNE 74105-1:1990. Acústica. Métodos estadísticos para la determinación y la verificación de los valores de emisión acústica establecidos para las máquinas y equipos. Parte 1: Generalidades y definiciones.

UNE 157001:2002. Criterios generales para la elaboración de proyectos.

EN 10253-4:2010 Accesorios para tuberías soldadas a tope. Parte 4: Aceros inoxidables forjados austeníticos y austero-férrico con requisitos específicos de inspección.

ISO 817. Refrigerantes orgánicos. Designación alfanumérica.

ISO 11650. Performance of refrigerant recovery and/or recycling equipment.

AHRI 700-2006. Specification for fluorocarbon refrigerants.

AHRI 700c-99. Appendix c to AHRI standard 700. Analytical Procedures for AHRI 700-99.





## ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN  
SECADERO DE JAMONES

Documento 5:

**PRESUPUESTO**

Alumno: Víctor Sancho Rodrigo

Tutor: Miguel Ángel Pascual Buisan

Pamplona, Junio 2013



# Documento 5

## Presupuesto

### Índice

5.1. Instalación frigorífica: Postsalado . . . . .	3
5.2. Instalación frigorífica: Postsalado-Secado . . . . .	4
5.3. Instalación frigorífica: Secado . . . . .	5
5.4. Instalación frigorífica: Bodega . . . . .	6
5.5. Instalación eléctrica . . . . .	7
5.6. Control automático . . . . .	7
5.7. Mano de obra . . . . .	8
5.8. Presupuesto total . . . . .	9

El presente documento tiene por objeto el desarrollo del presupuesto de las instalaciones frigoríficas de los secaderos diseñados en el presente proyecto.

Tanto la instalación eléctrica como el control automático de los secaderos se van a presupuestar de manera aproximada ya que no es la finalidad del presente proyecto.

## 5.1. Instalación frigorífica: Postsalado

NºOrden	Concepto/Referencia	Nºud.	[€/ud.]	Total [€]
1	Compresor Bitzer 8FE-70Y-40P	1	16573	16573
2	P.F.A Bitzer MP54,DELTA-P2	1	226	226
3	Frimetal BAT-EVAP-30/21/2500/4,4/60	1	8630	8630
4	Frimetal BAT-COND-30/3/2500/4/60	1	3250	3250
5	Cond. Frimetal CBN-226Y-V	1	15780	15780
6	V. Expansión ECV Alco EX7-I21	1	376,40	376,40
7	Controlador ECV Alco EC3-X33	1	274,40	274,40
8	Sensor de temperatura Alco ECN-N60	1	27,60	27,60
9	Sensor de presión Alco PT5-07M	1	90	90
10	Ventilador Nicotra ADH-G2E7-0400	1	1594	1594
11	Motor Siemens 180L-4 22kW	1	1727	1727
12	Transmisión de correas trapezoidales	1	423	423
13	Brida de carcasa montada	1	80	80
14	Evacuación de condensados montado	1	60	60
15	Puerta de inspección montada	1	206	206
16	Conexión flexible	1	348	348
17	V. Manual Castel 6590/9A	1	55,2	55,2
18	V. Manual Castel 6590/11A	1	67,70	67,70
19	V. Manual Castel 6590/17A	6	149	894
20	V. Manual Castel 6590/25A	1	560	560
21	V. Retención Castel 3182/17	2	226	452
22	V. Retención Castel 3142/17	1	177	177
23	V. Solenoide Castel 1098/9S	1	183	183
24	V. Solenoide Castel 1079/17S	3	272	816
25	V. Seguridad Castel 3060/33C	1	30,20	30,20
26	Filtro Castel 4413/9A	1	74,90	74,90
27	Visor Castel 3840/9	1	34,90	34,90
28	Lat. Antivibraciones Castel 7690/17	1	42	42
29	Recipiente líquido Bitzer F2202N	1	2464	2464
30	Refrigerante R-404a	170 Kg	10,8	1836
31	Presostato BP y HP Alco PS2-L7A	1	75,50	75,50
32	Termostato Alco TS1-A4F	1	66,30	66,30
33	Tubería 1 1/8"	3m	28,57	85,71
34	Tubería 1 3/8"	2m	34,92	69,84
35	Tubería 2 1/8"	4m	53,97	215,88
36	Tubería 3 1/8"	2m	79,37	158,78
	Total			58024,27

## 5.2. Instalación frigorífica: Postsalado-Secado

NºOrden	Concepto/Referencia	Nºud.	[€/ud.]	Total [€]
37	Compresor Bitzer 8GE-60Y-40P	1	15253	15253
38	P.F.A. Bitzer MP54,DELTA-P2	1	226	226
39	Frimetal BAT-EVAP-30/12/3300/4,4/60	1	9540	9540
40	Frimetal BAT-COND-30/3/3300/4/60	1	4060	4060
41	Cond. Frimetal CBN-226Y-V	1	15780	15780
42	V. Expansión ECV Alco EX7-I21	1	376,40	376,40
43	Controlador ECV Alco EC3-X33	1	274,40	274,40
44	Sensor de temperatura Alco ECN-N60	1	27,60	27,60
45	Sensor de presión Alco PT5-07M	1	90	90
46	Ventilador Nicotra ADH-G2E7-0500	1	2297	2297
47	Motor Siemens 200L-4 30kW	1	2135	2135
48	Transmisión de correas trapezoidales	1	674	674
49	Brida de carcasa montada	1	102	102
50	Evacuación de condensados montado	1	66	66
51	Puerta de inspección montada	1	206	206
52	Conexión flexible	1	348	348
53	V. Manual Castel 6590/9A	1	55,2	55,2
54	V. Manual Castel 6590/11A	1	67,70	67,70
55	V. Manual Castel 6590/13A	6	102	612
56	V. Manual Castel 6590/25A	1	560	560
57	V. Retención Castel 3182/13	2	207	414
58	V. Retención Castel 3142/13	1	106	106
59	V. Solenoide Castel 1098/9S	1	183	183
60	V. Solenoide Castel 1079/13S	3	226	678
61	V. Seguridad Castel 3060/33C	1	30,20	30,20
62	Filtro Castel 4413/9A	1	74,90	74,90
63	Visor Castel 3840/9	1	34,90	34,90
64	Lat. Antivibraciones Castel 7690/13	1	36	36
65	Recipiente líquido Bitzer F2202N	1	2464	2464
66	Refrigerante R-404a	150 Kg	10,8	1620
67	Presostato BP y HP Alco PS2-L7A	1	75,50	75,50
68	Termostato Alco TS1-A4F	1	66,30	66,30
69	Tubería 1 1/8"	3m	28,57	85,71
70	Tubería 1 3/8"	2m	34,92	69,84
71	Tubería 1 5/8"	4m	41,27	165,08
72	Tubería 3 1/8"	2m	79,37	158,74
	Total			58805,47

### 5.3. Instalación frigorífica: Secado

NºOrden	Concepto/Referencia	Nºud.	[€/ud.]	Total [€]
73	Compresor Bitzer 8FE-70Y-40P	1	16573	16573
74	P.F.A. Bitzer MP54,DELTA-P2	1	226	226
75	Frimetal BAT-EVAP-36/10/4000/4,4/60	1	11460	11460
76	Frimetal BAT-COND-36/3/4000/4/60	1	5320	5320
77	Cond. Frimetal CBN-301Y-V	1	20380	20380
78	V. Expansión ECV Alco EX7-I21	1	376,40	376,40
79	Controlador ECV Alco EC3-X33	1	274,40	274,40
80	Sensor de temperatura Alco ECN-N60	1	27,60	27,60
81	Sensor de presión Alco PT5-07M	1	90	90
82	Ventilador Nicotra ADH-G2K2-0630	1	3937	3937
83	Motor Siemens 225S-4 37kW	1	2772	2772
84	Transmisión de correas trapezoidales	1	748	748
85	Brida de carcasa montada	1	164	164
86	Evacuación de condensados montado	1	72	72
87	Puerta de inspección montada	1	296	296
88	Conexión flexible	1	370	370
89	V. Manual Castel 6590/9A	1	55,2	55,2
90	V. Manual Castel 6590/11A	1	67,70	67,70
91	V. Manual Castel 6590/17A	6	149	894
92	V. Manual Castel 6590/25A	1	560	560
93	V. Retención Castel 3182/17	2	226	452
94	V. Retención Castel 3142/17	1	177	177
95	V. Solenoide Castel 1098/9S	1	183	183
96	V. Solenoide Castel 1079/17S	3	272	816
97	V. Seguridad Castel 3060/33C	1	30,20	30,20
98	Filtro Castel 4413/9A	1	74,90	74,90
99	Visor Castel 3840/9	1	34,90	34,90
100	Lat. Antivibraciones Castel 7690/17	1	42	42
101	Recipiente líquido Bitzer F2202N	1	2464	2464
102	Refrigerante R-404a	180 Kg	10,8	1944
103	Presostato BP y HP Alco PS2-L7A	1	75,50	75,50
104	Termostato Alco TS1-A4F	1	66,30	66,30
105	Tubería 1 1/8"	3m	28,57	85,71
106	Tubería 1 3/8"	2m	34,92	69,84
107	Tubería 2 1/8"	4m	53,97	215,88
108	Tubería 3 1/8"	2m	79,37	158,74
	Total			71553,27

## 5.4. Instalación frigorífica: Bodega

NºOrden	Concepto/Referencia	Nºud.	[€/ud.]	Total [€]
109	Compresor Bitzer 8FE-50Y-40P	1	14909	14909
110	P.F.A. Bitzer MP54,DELTA-P2	1	226	226
111	Frimetal BAT-EVAP-36/6/3400/4,4/60	1	9980	9980
112	Frimetal BAT-COND-36/3/3400/4/60	1	4510	4510
113	Cond. Frimetal CBN-226Y-V	1	15780	15780
114	V. Expansión ECV Alco EX7-I21	1	376,40	376,40
115	Controlador ECV Alco EC3-X33	1	274,40	274,40
116	Sensor de temperatura Alco ECN-N60	1	27,60	27,60
117	Sensor de presión Alco PT5-07M	1	90	90
118	Ventilador Nicotra ADH-G2E7-0560	1	3044	3044
119	Motor Siemens 200L-4 30kW	1	2772	2772
120	Transmisión de correas trapezoidales	1	748	748
121	Brida de carcasa montada	1	126	126
122	Evacuación de condensados montado	1	70	70
123	Puerta de inspección montada	1	206	206
124	Conexión flexible	1	362	362
125	V. Manual Castel 6590/9A	1	55,2	55,2
126	V. Manual Castel 6590/11A	1	67,70	67,70
127	V. Manual Castel 6590/13A	6	102	612
128	V. Manual Castel 6590/25A	1	560	560
129	V. Retención Castel 3182/13	2	207	414
130	V. Retención Castel 3142/13	1	106	106
131	V. Solenoide Castel 1098/9S	1	183	183
132	V. Solenoide Castel 1079/13S	3	226	678
133	V. Seguridad Castel 3060/33C	1	30,20	30,20
134	Filtro Castel 4413/9A	1	74,90	74,90
135	Visor Castel 3840/9	1	34,90	34,90
136	Lat. Antivibraciones Castel 7690/13	1	36	36
137	Recipiente líquido Bitzer F1602N	1	1801	1801
138	Refrigerante R-404a	130 Kg	10,8	1404
139	Presostato BP y HP Alco PS2-L7A	1	75,50	75,50
140	Termostato Alco TS1-A4F	1	66,30	66,30
141	Tubería 1 1/8"	3m	28,57	85,71
142	Tubería 1 3/8"	2m	34,92	69,84
143	Tubería 1 5/8"	4m	41,27	165,08
144	Tubería 3 1/8"	2m	79,37	158,74
	Total			60179,47



## 5.5. Instalación eléctrica

Nº Orden	Concepto/Referencia	Total [€]
145	Instalación eléctrica: Postsalado	2000
146	Instalación eléctrica: Postsalado-Secado	2000
147	Instalación eléctrica: Secado	3000
148	Instalación eléctrica: Bodega	3000
Total instalación eléctrica		10000

## 5.6. Control automático

Nº Orden	Concepto/Referencia	Total [€]
149	Control automático: Postsalado	3000
150	Control automático: Postsalado-Secado	3000
151	Control automático: Secado	4500
152	Control automático: Bodega	4500
Total control automático		15000

## 5.7. Mano de obra

### Secadero: Postsalado

Nº Orden	Concepto/Referencia	t [h]	[€/h]	Total [€]
153	Técnico	40	30	1200
154	Ayudante 1	70	15	1050
155	Ayudante 2	70	15	1050
Total				3300

### Secadero: Postsalado-Secado

Nº Orden	Concepto/Referencia	t [h]	[€/h]	Total [€]
156	Técnico	40	30	1200
157	Ayudante 1	70	15	1050
158	Ayudante 2	70	15	1050
Total				3300

### Secadero: Secado

Nº Orden	Concepto/Referencia	t [h]	[€/h]	Total [€]
159	Técnico	60	30	1800
160	Ayudante 1	100	15	1500
161	Ayudante 2	100	15	1500
Total				4800

### Secadero: Postsalado

Nº Orden	Concepto/Referencia	t [h]	[€/h]	Total [€]
162	Técnico	60	30	1800
163	Ayudante 1	100	15	1500
164	Ayudante 2	100	15	1500
Total				4800

**Total Mano de Obra: 16200€**

## 5.8. Presupuesto total

Concepto	Total [€]
Instalación frigorífica:Postsalado	58024,27
Instalación frigorífica:Postsalado-Secado	58805,47
Instalación frigorífica:Secado	71553,27
Instalación frigorífica:Bodega	60179,47
Total instalación eléctrica	10000
Total control automático	15000
Total mano de obra	16200
Total Presupuestado	289762,48

Total presupuestado		289762,48€
Beneficio industrial	15 %	43464,37€
	Subtotal	333226,85€
I.V.A.	21 %	69977,64€
TOTAL		403204,49 €

El presente presupuesto asciende a la cantidad total de:  
Cuatrocientos tres mil doscientos cuatro coma cuarenta y nueve euros.

Relizado por:  
Víctor Sancho Rodrigo  
Pamplona, Junio 2013



## **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

Titulación:

**INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO**

Título del proyecto:

**TRATAMIENTO HIGROTÉRMICO DEL AIRE EN UN  
SECADERO DE JAMONES**

Documento 6:

**BIBLIOGRAFÍA**

Alumno: Víctor Sancho Rodrigo

Tutor: Miguel Ángel Pascual Buisan

Pamplona, Junio 2013



# Bibliografía

- [1] *Conocimientos técnicos de climatización*. CEYSA Editorial Técnica.
- [2] *Conocimientos y Experiencias sobre Instalaciones de Climatización, Calefacción y A.C.S.* Editorial AMICYF.
- [3] *Documento Básico HE Ahorro de Energía*, 2009.
- [4] *Código técnico de la edificación, Catálogo de elementos constructivos del CTE*, 2010.
- [5] *Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas*, Marzo 2011.
- [6] Bernard, equipamiento industria alimentaria. <http://www.josebernad.com/>, Febrero 2013.
- [7] Bitzer. <http://www.bitzer.de/esl/Home>, Marzo 2013.
- [8] Castel. <http://www.castel.it/products.aspx?LAN=EN>, Marzo 2013.
- [9] Emerson climate technologies. <http://www.emersonclimate.com/es-la/Products/Pages/products.aspx>, Marzo 2013.
- [10] Frimetel, baterías intercambiadoras para refrigeración industrial y comercial. <http://www.frimetal.es>, Marzo 2013.
- [11] Greenfrio. <http://www.greenfrio.com/greenfrio/de/Secaderos-de-jamones-y-embutidos.asp?nombre=2731&cod=2731&sesion=1>, Febrero 2013.
- [12] Iberdrola. <https://www.iberdrola.es/clientes/empresas/info/mercado-energetico>, Abril 2013.
- [13] Kide. <http://www.kide.com/?content=211;ksj-secaderos-jamones>, Febrero 2013.
- [14] Nicotra gebhardt. [http://www.nicotragebhardt.com/front\\_content.php?idcat=143&classtauscher=142&lang=2](http://www.nicotragebhardt.com/front_content.php?idcat=143&classtauscher=142&lang=2), Marzo 2013.
- [15] Requisitos mínimos para un jamón curado pueda ser acogido a la figura de calidad especial tradicional garantizada (etg). <http://www.tec-microsystems.com>, Febrero 2013.
- [16] Roser, maquinaria para la industria alimentaria. <http://www.roser.es/>, Febrero 2013.

- [17] Sedical, técnica para el ahorro de energía. [http://www.sedical.com/web/productos\\_listado.aspx?CAT\\_ID=140&SUB\\_ID=142](http://www.sedical.com/web/productos_listado.aspx?CAT_ID=140&SUB_ID=142), Abril 2013.
- [18] Técnicas de secaje y refrigeración, tsr. <http://www.tsr.es/equipamientos.htm>, Febrero 2013.
- [19] Technical university of denmark. coolpack, simulation models. <http://www.ipu.dk/English/IPU-Manufacturing/Refrigeration-and-energytechnology/Downloads/CoolPack.aspx>, Febrero 2013.
- [20] E. T. Alcaraz. *La producción de frío*. Universidad Politécnica de Valencia, 1996.
- [21] I. ATECYR. *Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Editorial IDAE, 2010.
- [22] P. Jasper. *Conservación de la carne por el frío*. Editorial Acribia, 1978.
- [23] H. N. S. Michel J. Moran. *Fundamentos de termodinámica técnica*. Editorial Reverte, 2005.
- [24] J. A. Soriano. *Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas*. Editorial Ciencia 3, 2002.
- [25] J. Ventanas. *Tecnología del jamón ibérico. De los sistemas tradicionales a la explotación racional del sabor y el aroma*. Ediciones Mundi Prensa, 2001.
- [26] M. T. S. y Pineda de las Infantas. *Ingeniería del Frío: Teoría y Práctica*. AMV Ediciones, MUNDI-PRENSA Libros, 2001.